

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství

Katedra materiálů a technologií pro automobily



Návrh konstrukčních úprav teplotního simulátoru

StudentCar

Design structural modifications of thermal simulator

StudentCar

Autor práce: Marek Beseda

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Tomčík, Ph.D.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra materiálů a technologií pro automobily

Zadání bakalářské práce

Student: **Marek Beseda**
Studijní program: B3923 Materiálové inženýrství
Studijní obor: 3911R034 Materiály a technologie pro automobilový průmysl
Téma: **Návrh konstrukčních úprav teplotního simulátoru StudentCar**
Design structural modifications of thermal simulator StudentCar

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Shrnutí technologických prostředků a opatření používaných při tepelném zpracování oceli.
3. Naměření limitních rychlostí ochlazování při současném stavu simulátoru StudentCar.
4. Návrh konstrukčních úprav vedoucích ke zvýšení ochlazovacích rychlostí.
5. Realizace provedených úprav a provedení verifikačních experimentů.
6. Shrnutí dosažených výsledků a závěry.

Seznam doporučené odborné literatury:

SONDEL, M. Studium vlastností modelovaných pásem TOO svarových spojů oceli P91. Disertační práce, VŠB – TU Ostrava, 2005. 101s.

KUČERA, J. Teorie svařování. Skripta VŠB. Ostrava: VŠB – TUO, 1991, 408 s.

Kolektiv autorů. Materiály a jejich svařitelnost. Skripta pro výuku svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 2001. 292 s. ISBN 80-85771-85-3

KOUKAL, J., ZMYDLENÝ, T. Svařování I. skripta VŠB – TUO. Ostrava: VŠB – TUO, 2005. 133 s. ISBN 80-248-0870-6

VODÁREK, V. Fyzikální metalurgie modifikovaných (9-12)% Cr ocelí, monografie VŠB – TUO, Ostrava: VŠ – TUO, 2003. 163 s. ISBN 80-248-0329-1

SILBERNAGEL, A. Nauka o materiálu I., 1. Vyd. VŠB-TU Ostrava, 1991. 152s. ISBN 80-7078-116-5.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Tomčík, Ph.D.**

Datum zadání: 28.11.2014

Datum odevzdání: 30.04.2015



doc. Ing. Petr Tomčík, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty

Zásady pro vypracování bakalářské práce

I.

Bakalářskou práci (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání bakalářské práce:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list | 6. Obsah BP |
| 2. Originál zadání BP | 7. Textová část BP |
| 3. Zásady pro vypracování BP | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřisečné prohlášení | 9. Přílohy |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání BP obdrží student na oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za originálem zadání BP. („Zásady pro vypracování bakalářské práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřisečné prohlášení napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnícké nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahnuje názvy všech číslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
- Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP nemusí obsahovat experimentální (aplikační) část.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující doporučené úpravy písma Times New Roman (nebo podobné) 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na

ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost.

U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranitých závorkách) na seznam použité literatury.

Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 8) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690. Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně vřadit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*


dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě.

IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2013/2014.

Ostrava 1. 2. 2014



Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že:

- Jsem byl seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odstavec 3)
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odstavce 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněná v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona číslo 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.
- **Místopřísečně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně.**

V Ostravě dne: 26.4.2015


.....
Podpis (jméno a příjmení studenta)

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá návrhem konstrukční úpravy teplotního simulátoru StudentCar. Práce je rozdělená na teoretickou a experimentální část.

Teoretická část bakalářské práce obsahuje technologie ochlazování, a přenos tepla. V druhé části teorie jsou popsány metody úpravy chladicího systému teplotního simulátoru StudentCar, které vedou k dokonalejší simulaci metod ochlazování materiálu.

Experimentální část zahrnuje pracovní postup testování teplotního cyklu ochlazování na teplotním simulátoru StudentCar a následně vykreslené grafy ze simulace ochlazování materiálu před úpravou chladicího systému a po úpravě.

Klíčová slova: teplotní simulátor, teplotní cyklus, limitní rychlost ochlazování, simulaci metod ochlazování.

Abstract

This bachelor's thesis deals with the structural changes of the temperature simulator StudentCar. The work is divided into theoretical and experimental part.

The theoretical part contains a description of the properties of steel at cooling both by hardening and heat transfers between different materials. The second part describes the theory of the adjustment method of the cooling system temperature simulator StudentCar that lead to improved methods for simulating cooling of the material.

The experimental part includes workflow testing temperature cycle cooling the temperature simulator StudentCar and subsequently plotted graphs of simulation cooling of the material before adjusting cooling system and after treatment.

Keywords: thermal simulator, temperature cycle, limiting the cooling rate, cooling simulation methods.

OBSAH

ÚVOD	10
1. TECHNOLOGIE OCHLAZOVÁNÍ	11
1.1 Rychlost ochlazování	11
1.2 Chladicí prostředí	14
1.3 Ochlazování vodou	15
1.4 Ochlazování v olejích	17
1.5 Ochlazování ve vzduchu	18
2. PŘENOS TEPLA	19
2.1 Přenos tepla vedením	19
3. MĚŘENÍ NA TEPLOTNÍM SIMULÁTORU STUDENTCAR	20
3.1 Popis zařízení	20
3.2 Technické parametry zařízení	21
3.3 Příprava zkušebního vzorku	22
3.4 Instalace zkušebního vzorku	27
3.5 Práce s teplotním simulátorem StudentCar	30
4. MĚŘENÍ RYCHLOSTI OCHLAZOVÁNÍ	40
4.1 Ochlazování na klidném vzduchu	40
4.2 Ochlazování ve vakuu	42
4.3 Ochlazování prouděním argonu na klidném vzduchu	44
5. NÁVRH KONSTRUKČNÍ ÚPRAVY CHLADICÍHO SYSTÉMU	46
5.1 Nerezová trubice se dvěma vstupy	46
5.2 Nerezová trubice se dvěma vstupy a odsáváním	51
5.3 Hliníková trubice se dvěma vstupy a odsáváním	59
6. ZÁVĚR	66
7. Poděkování	68
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	69
PŘÍLOHY NA CD	70

ÚVOD

Tato práce se zabývá limitními rychlostmi ochlazování teplotních cyklů na teplotním simulátoru StudentCar, který je jediný svého druhu v ČR a probíhají na něm experimenty. Hlavním cílem je navrhnout konstrukční úpravy chladicího systému vedoucí ke zvýšení ochlazovacích rychlostí při simulaci metod ochlazování materiálu.

První oddíl je věnován shrnutí vybraných technologických prostředků a opatření používaných při tepelném zpracování oceli. Popisuje technologie ochlazování oceli a přestupy tepla mezi nimi. Seznámení se s teplotním simulátorem StudentCar, příprava experimentálních vzorků a postup měření na teplotním simulátoru.

Druhý oddíl se zabývá měřením limitních rychlosti ochlazování při současném stavu teplotního simulátoru StudentCar. Vyhodnocením naměřených dat navrhne možnou konstrukční úpravu chladicího systému, kterou dále zrealizujeme a naměřenými výsledky vyhodnotíme úspěch konstrukční úpravy.

1. TECHNOLOGIE OCHLAZOVÁNÍ

Technologii ochlazování materiálu ovlivňuje několik faktorů, a to druh ocelového materiálu, charakteristický rozměr tepelně přetvářeného výrobku a upotřebené chladicího prostředí. Vlastnosti u konstrukční oceli a jejich mikrostruktura významně závisí na ochlazovací rychlosti z austenitizační teploty. [3]

1.1 Rychlost ochlazování

Ochlazovací rychlost lze vystihnout jako pokles teploty za určitou časovou jednotku, např. °C/s, v daném teplotním intervalu chladnutí. S připodobněním diagramu anizotermického rozpadu austenitu u široké škály konstrukční oceli lze pro dostačující exaktní stanovení rychlosti ochlazování a její znázornění užít hodnocení podle Gutta a Lulinga pomocí součinitele rychlosti ochlazování: [3]

$$-v = \log t_{A/2} \quad (1)$$

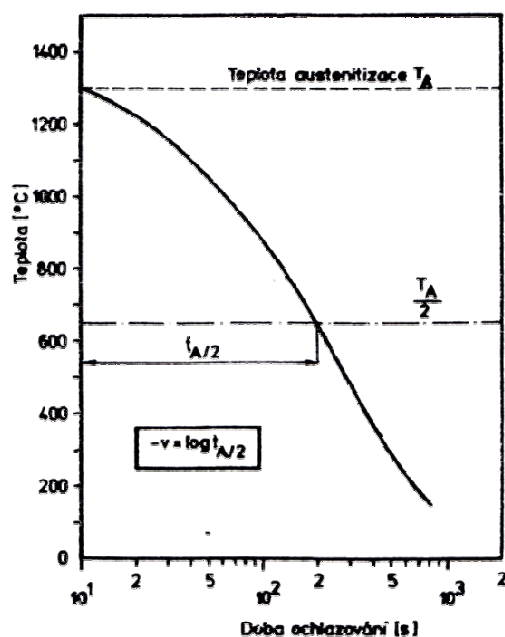
kde:

$t_{A/2}$ – doba ochlazování z teploty austenizace (T_A)
na její polovinu ($T_{A/2}$) udávané v (s)

Přičemž úpravou vzorce vypočteme dobu ochlazování:

$$t_{A/2} = 10^{-v}$$

Zidealizovaná průběh obecné ochlazovací křivky vidíme na **Obr. 1**.



Obr. 1 Obecná ochlazovací křivka a stanovení součinitele rychlosti ochlazování. [3]

Matematicko-statickým vyhotovením výsledku jsou stanoveny optimální vzorce pro charakteristické rozměry W :

- a) plechy ochlazované ve vodě, v oleji a na volném vzduchu:

$$W_p = t \quad (2)$$

- b) trubky ochlazované ve vodě a v oleji:

$$W_T = \frac{s}{1 - \frac{s}{D}} \quad (3)$$

- c) trubky ochlazované na volném vzduchu:

$$W_T = 2s \cdot \left(1 - \frac{s}{D}\right) \quad (4)$$

kde:

W_p - charakteristický rozměr plechu (mm)

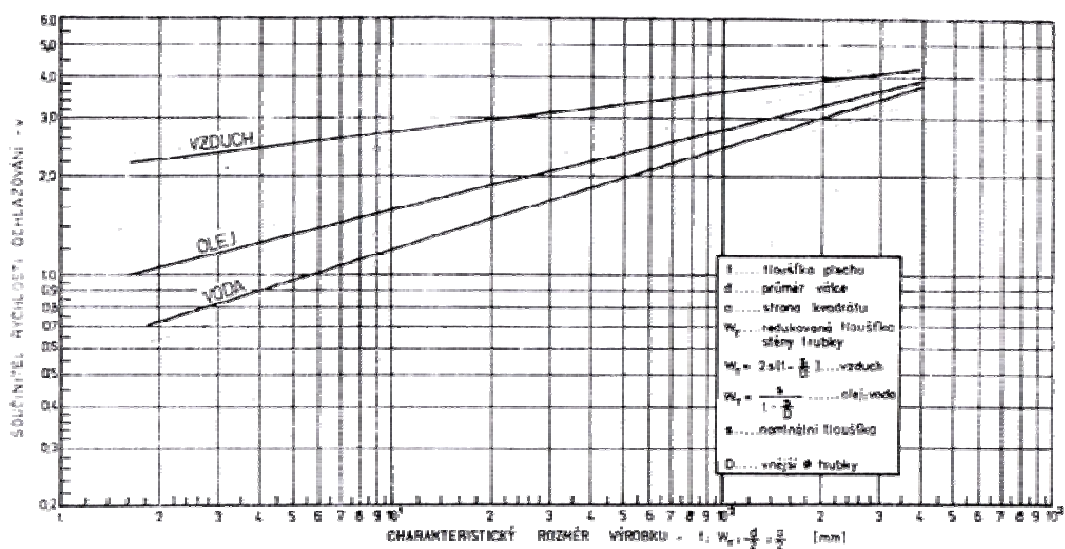
t - tloušťka plechu (mm)

W_T - charakteristický rozměr trubky (mm)

s - tloušťka stěny trubky (mm)

D - vnější průměr trubky (mm)

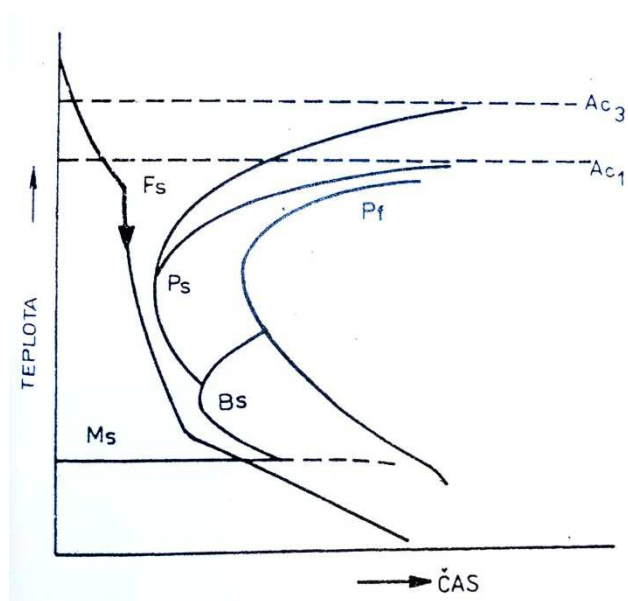
Rychlost ochlazování konkrétních výrobků středních hodnot závislosti součinitele $-v$ na charakteristickém rozměru W pro ochlazení ve vodě, v oleji a na klidném vzduchu nám zobrazuje diagram na **Obr. 2**. [3]



Obr. 2 Diagram středních hodnot závislostí součinitele $-v$ na charakteristickém rozměru W pro ochlazování ve vodě, v oleji a na vzduchu. [3]

1.2 Chladicí prostředí

Při tepelném zpracování se dle způsobů užívá odlišně intenzivně působící chladicí prostředí. Kalení uhlíkových ocelí, které mají vysokou kritickou rychlost, užíváme k intenzivně působícímu prostředí vodu. U legované oceli s nízkou kritickou rychlostí je dostačující mírnější prostředí v podobě oleje, nebo vzduchu. Křivka ochlazování nám vystihuje ochlazovací schopnost ideálního kalicího prostředí, které má jednotvárný průběh a její tvar je dán diagramem ARA náležité oceli. Její průběh je na **Obr. 3**. [1]



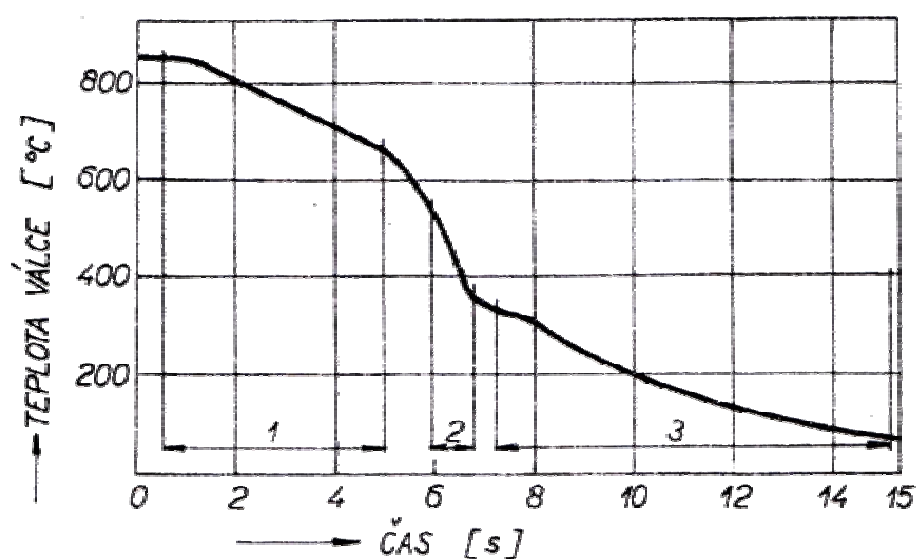
Obr. 3 Průběh ideální křivky ochlazování při kalení. [1]

Záměrem kalení ocelí je zvýšit její tvrdost. Jedná se o ohřev prvku na teplotu A_{c3} popř. A_{c1} , setrvání na této teplotě a ochlazení kritickou rychlostí, přičemž potlačíme vznik feritu a perlitu a zachovaný austenit při teplotě pod 500°C se změní na bainit nebo martenzit. Vyplývá tím, že teplota kalení leží nad překrystalizačními teplotami oceli, aby před kalením byla struktura u podeutektoidních ocelí homogenním austenitem a u ocelí nadeutektoidních směsí austenitu a cementitu. Vhodné kalící teploty se volí 30 až 50°C nad A_{c3} u podeutektoidních ocelí nebo nad A_{c1} u nadeutektoidních. V případě nadeutektoidních ocelí volíme teploty, jenž nepřekročí A_{cm} z důvodu zbylého cementitu, který je po ohřevu nad A_{c1} tvrdou složkou a tím pádem přispívá k tvrdosti oceli po kalení. V opačném případě teploty nad A_{cm}

vzroste obsah zůstatku austenitu, z čehož vznikne struktura o menší tvrdosti. Příznačným rysem pro kalení je vznik martenzitu nebo bainitu, proto je nutná větší rychlost ochlazování než kritická rychlost ochlazování. [3]

1.3 Ochlazování vodou

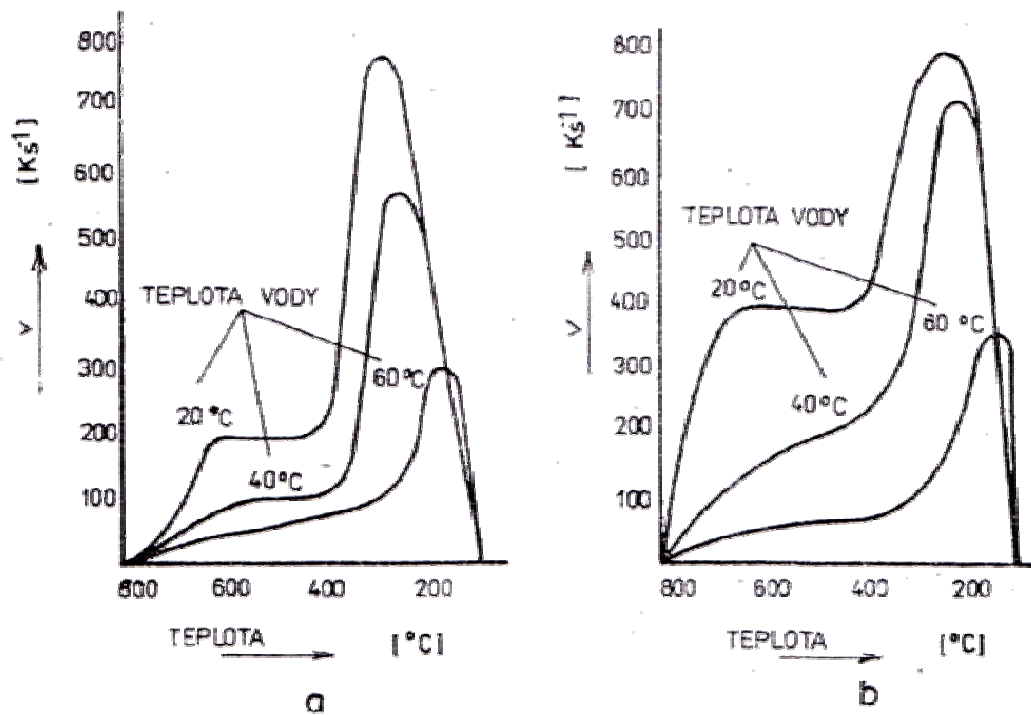
Patří k nejstaršímu chladicímu prostředí, v jehož ochlazovacím průběhu dochází ke změně skupenství – kalící teplota je vyšší než bod varu. Ochlazovací rychlost vody v procesu kalení vidíme na **Obr. 4**, lze jej rozdělit na 3 údobí.



Obr. 4 Průběh ochlazování válcového vzorku o průměru 6,4 mm ve vodě teplé 58 °C. [1]

V 1. údobí ochlazení neprobíhá plynule. U součásti zahřáté na danou kalící teplotu se po ponoření do vody vytvoří parní polštář, který zpomalí ochlazovací rychlost vody. Parní polštář se poruší při ochlazení součásti na teplotu okolo 400°C. Ve 2. údobí nadejde intenzivní ochlazení prudkým varem vody. Od 3. údobí intenzita ochlazování opět klesne. Rovnoměrnost ochlazovací schopnosti zvýšíme cirkulací vody, která zvýší ochlazovací schopnost v horní oblasti. [1]

Rozdíl ochlazování různě teplé klidné a cirkulující vody je vidět na **Obr. 5.** [1]



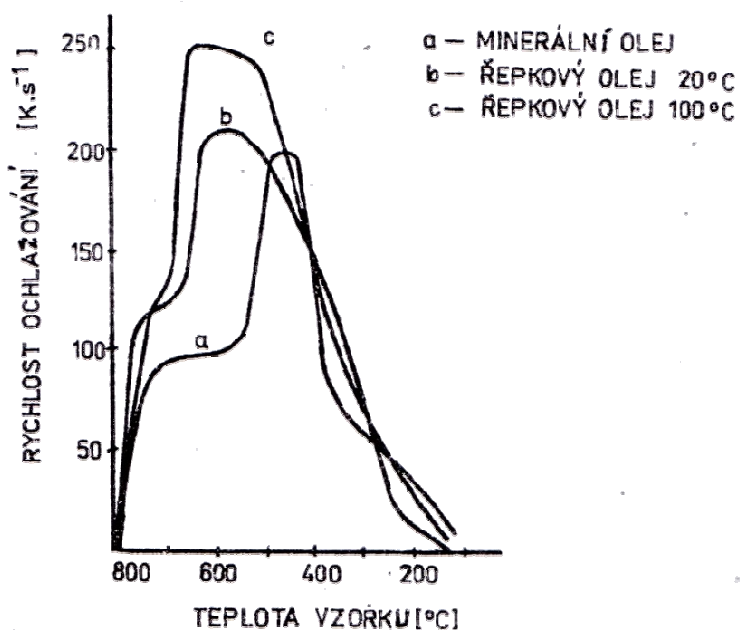
Obr. 5 Rychlost ochlazování vody v závislosti na teplotě kalené oceli. [1]

a – klidná voda

b – cirkulující voda

1.4 Ochlazování v olejích

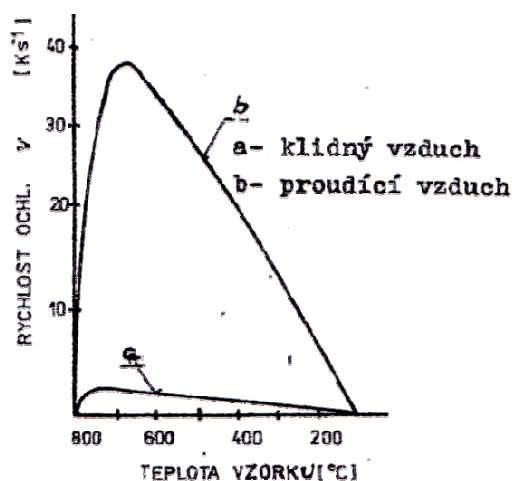
V oblasti vysokých teplot okolo 550°C probíhá kalení v oleji 3 – 4 x pomaleji oproti vodě. Při nižších teplotách pod 300°C je rychlost až 10 x pomalejší. Pro kalení se převážně používají minerální oleje, které jsou stálejší a při vyšší teplotě lázně mají střední a velkou viskozitu a tedy větší ochlazovací účinnost. Teplota lázně se pohybuje mezi 30 – 70°C. Oleje s nízkým bodem vzplanutí a malou viskozitou mají slabší ochlazovací účinnost s narůstající teplotou lázně, přičemž zde převažuje vliv rostoucí stability parního polštáře. Rozdíl ochlazovací rychlosti různých olejů je na Obr. 6. [1]



Obr. 6 Rychlost ochlazování olejů v závislosti na teplotě oceli. [1]

1.5 Ochlazování ve vzduchu

Tato metoda se využívá u hluboko prokalitelné oceli, např. rychlořezné oceli. V případě kalení na vzduchu je vnitřní pnutí velmi malé a hrozí nebezpečí oduhličení. Z tohoto důvodu kalíme převážně rozměrné předměty. Ochlazování v klidném vzduchu probíhá velice mírně, pro zvýšení účinnosti užíváme ochlazování prouděním, jeho průběh je na **Obr. 7**. [1]



Obr. 7 Rychlost ochlazování na vzduchu. [1]

2. PŘENOS TEPLA

Sdílení tepla je založeno na základech termomechaniky, fyziky, chemie a matematiky. Rozdělujeme je dle fyzikální podstaty do tří dějů přenosu tepla a to vedením (kondukcí), prouděním (konvekcí) a sáláním (radiací, zářením). [4]

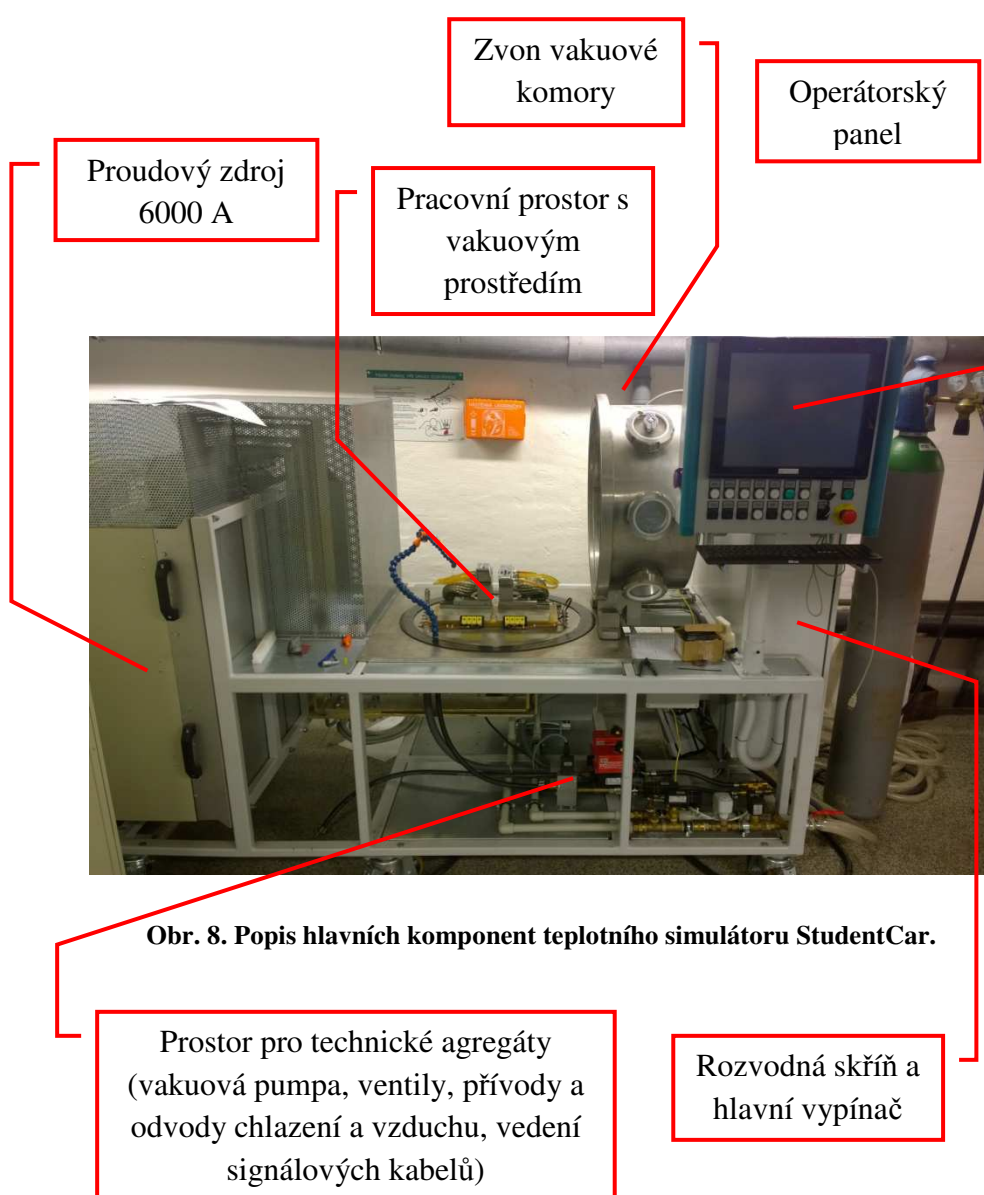
2.1 Přenos tepla vedením

Vyplývá z druhého zákona termodynamiky. Je to přenos energie probíhající ve spojitém látkovém prostředí, ve kterém předávají částice s vyšší kinematickou energií část energie částicím s nižší energií. Probíhá hlavně v pevných neprůhledných látkách. Podmínkou je nevyvážené teplotní rozptýlení v tělese. Rozdělení teplotních polí do jednorozměrného, dvojrozměrného, nebo trojrozměrného, s vazbou k daným souřadnicím a na probíhajícím ději. Teplotní růst směru normály je gradient teploty. Hustota tepelného toku q ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) je proporcionální gradientu teploty, jež sděluje I. Fourierův zákon. Jestliže aplikujeme hustotu tepelného toku na specifikovanou plochu, tak mluvíme o tepelném toku P , přidáním časové složky mluvíme o teple Q . Součinitel tepelné vodivosti λ je termofyzikálním parametrem látky, s vazbou na teplotu, strukturu a chemické složení materiálu. [4]

3. MĚŘENÍ NA TEPLOTNÍM SIMULÁTORU STUDENTCAR

3.1 Popis zařízení

Teplotní simulátor je laboratorní zařízení pro fyzikální simulaci teplotních křivek na vzorcích z kovového materiálu. Princip funkce je založena na ohmickém ohřevu průchodem elektrického proudu vzorkem. Předpokládaný vzorek materiálu je elektricky vodivý kov s parametry elektrické a tepelné vodivosti podobné oceli. Na **Obr. 8.** je pohled na teplotní simulátor StudentCar s popisem komponentů.



Obr. 8. Popis hlavních komponent teplotního simulátoru StudentCar.

3.2 Technické parametry zařízení

Maximální proud:	6000 A
Maximální napětí:	7 V
Maximální teplotní gradient ohřevu:	200°K/s
Maximální teplotní gradient chlazení:	50°K/s
Maximální teplota vzorku:	1250 °C
Minimální teplota vzorku:	15 °C
Průřez zkušebního vzorku:	10 x 10 mm
Délka zkušebního vzorku:	70 – 140 mm
Minimální dosažený tlak:	0,15 mBar
Zdroj napájení:	3x400 V, 63 A
Rozměry zařízení:	2000x1000x1600 mm
Váha zařízení:	750 Kg

3.3 Příprava zkušebního vzorku

Pro náš test použijeme vzorek oceli P92 o průřezu čtvercového tvaru s rozměrem 10 x 10 mm, délkou 100 mm a drsností 3,2, který vidíme na **Obr. 9**.



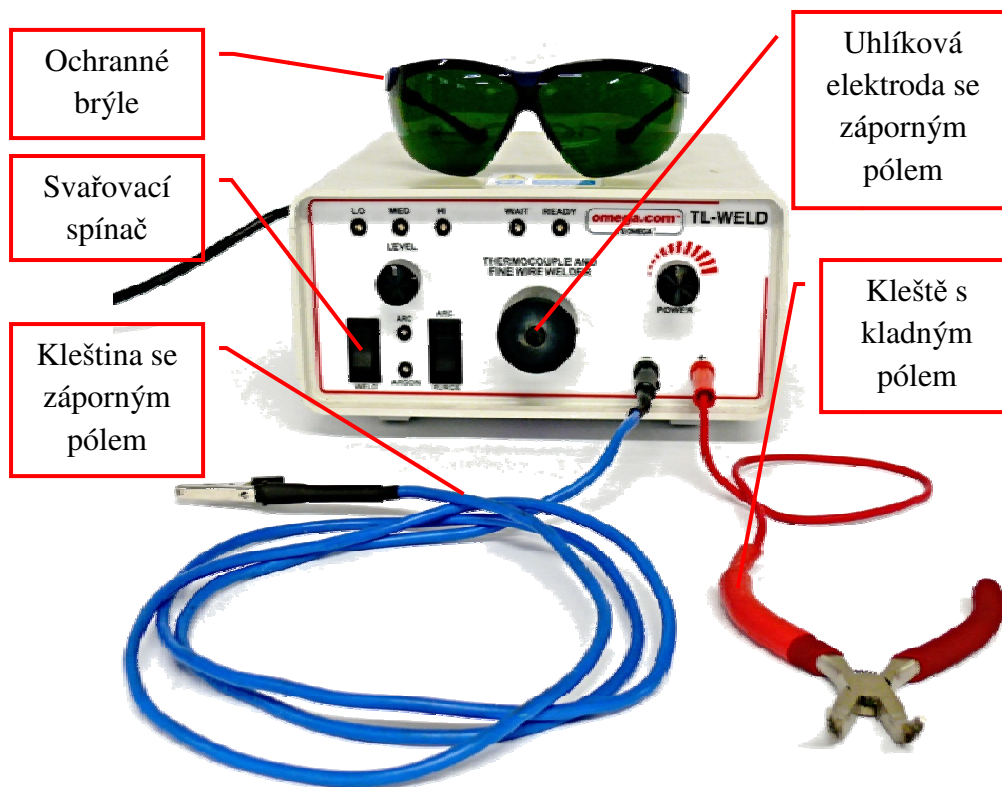
Obr. 9. Ocelový vzorek s rozměry 10x10x100 mm.

Vzorek je opatřen termočláňkovým snímačem typu K (viz **Obr. 10**).



Obr. 10. Termočláňkový snímač typu K.

K přípravě termočlánků a připevnění na vzorek použijeme svářečku termočlánekových drátů TL-WELD (viz **Obr. 11**).

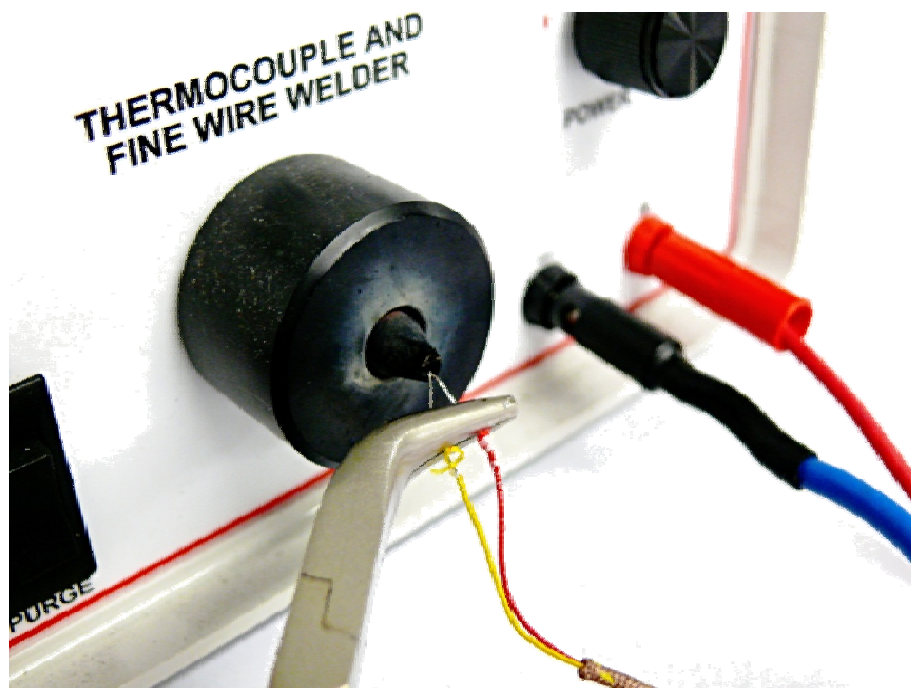


Obr. 11 Svářečka termočlánekových drátů TL-WELD.

Technické parametry zařízení

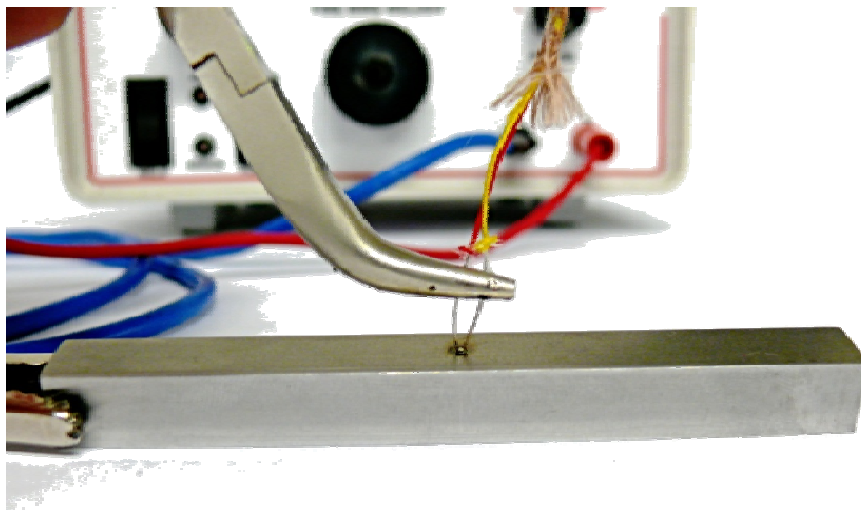
Energetický výkon:	0-60 J
Svařovací kapacita:	průměr drátu do 1,1 mm
Počet cyklů:	min. 5-10 svarů/min
Zdroj napájení:	220-250 V, 50-60 Hz
Rozměry zařízení:	220 x 120 x 250 mm
Váha zařízení:	4 Kg

Volné konce termočlánekového drátu zbavíme izolační ochrany a uchytíme do kleští připojených ke kladnému pólu. Konce termočlánekových drátku se musí spolu dotýkat. Přiložíme je na uhlíkovou zápornou elektrodu (**Obr. 12**) a stiskneme svařovací spínač.



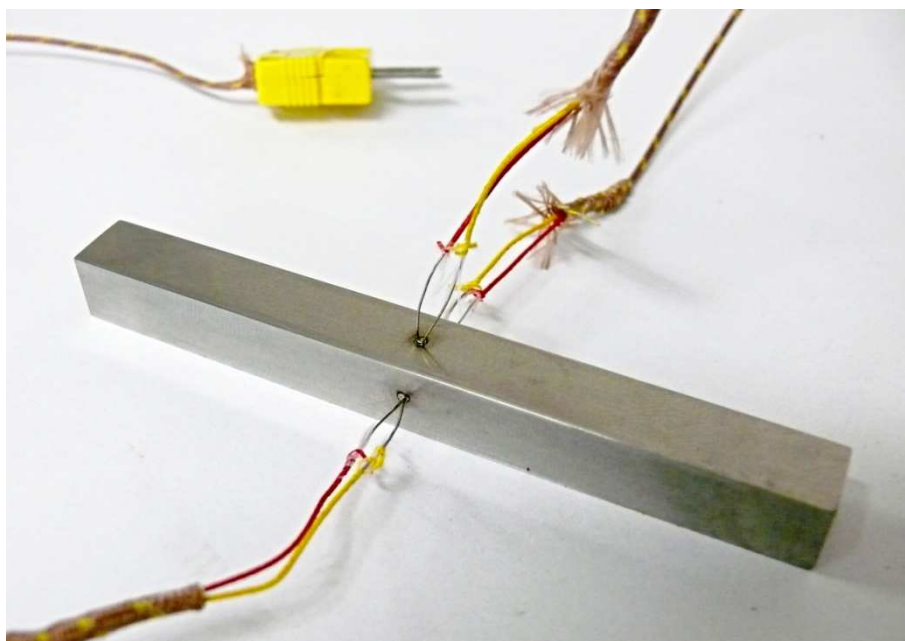
Obr. 12 Spojení drátu termočlánu.

Poté ocelový vzorek upneme do kleštiny připojené k zápornému pólu. Připravený termočlánek stále uchycený v kleštích přiložíme v polovině délky vzorku na jeho povrch a opět stiskneme svařovací spínač. Termočlánek je nyní kontaktně připevněn na vzorek svarem (viz **Obr. 13**).



Obr. 13 Připevnění senzoru na povrchu vzorku.

Tento postup opakujeme pro další dva termočlánky, abychom měli vzorek osazený třemi nezávislými senzory pro optimální průběh zkoušky (viz **Obr. 14**).



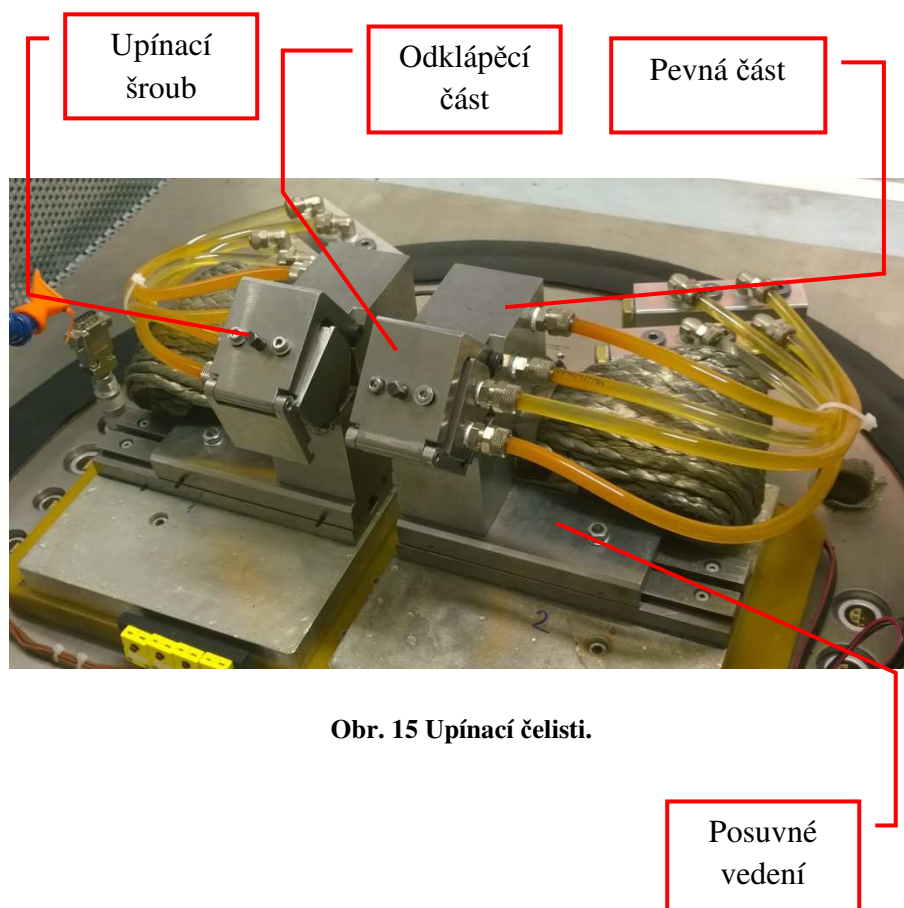
Obr. 14 Ocelový vzorek osazen třemi termočlánky.

Hlavním cílem je snížit riziko nedokončení zkoušky při závadě jednoho z termočlánku. Termočlánekové dráty se nesmí vzájemně dotýkat nad povrchem svaru, svarový kov nesmí výrazně vyčnívat nad povrch vzorku, zpomalovalo by to měření teploty a znemožnilo přesnou realizaci experimentu.

3.4 Instalace zkušební vzorku

Zkušební vzorek se instaluje do pohyblivých čelistí teplotního simulátoru.

Čelisti jsou složeny z několika pohyblivých dílů (viz **Obr. 15**)



Obr. 15 Upínací čelisti.

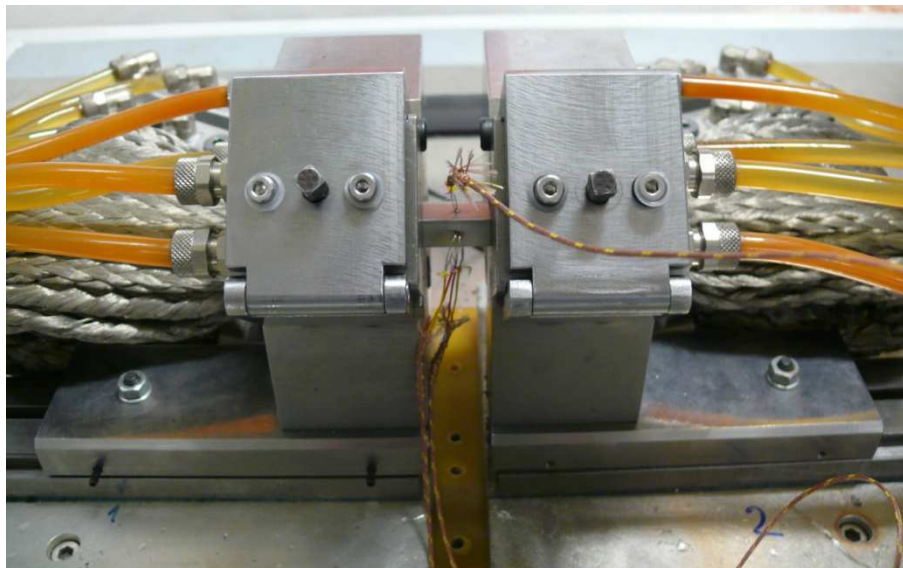
Postup instalace vzorku:

1. Povolíme čelisti pomocí upínacího šroubu se čtyřhrannou hlavou.
2. Povolíme posuvné vedení čelistí šroubem ve vodící desce.
3. Odklopíme pohyblivé části čelistí i s upínacími deskami.
4. Vložíme vzorek do čelistí (viz **Obr. 16**).
5. Horizontální posuv vedení nastavíme pro požadovaný rozestup čelistí, přičemž termočlánekový snímač je v polovině rozestupu. Cílem je zajistit rovnoměrné vložení vzorku do čelistí s minimální délkou vyložení v každé čelisti 10 mm.
6. Uzavřeme čelisti a dotáhneme upínací šroub se čtyřhrannou hlavou.

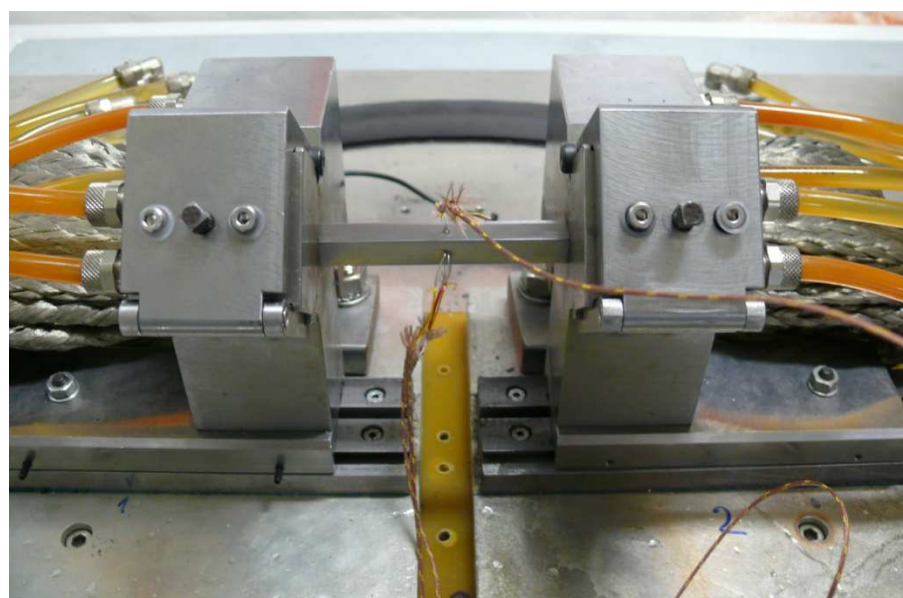


Obr. 16 Upínací čelisti v odklopeném stavu se vzorkem.

První měření provedeme se vzdáleností čelistí 20 mm od sebe. Před každým dalším měření roztáhneme čelisti o 10 mm až po koncovou hranici rozestupu čelistí na 80mm. Instalovaný zkušební vzorek se třemi termočlánky a rozdílem rozestupů čelistí v koncových mezích 20 mm (**Obr. 17**) a 80 mm (**Obr. 18**).



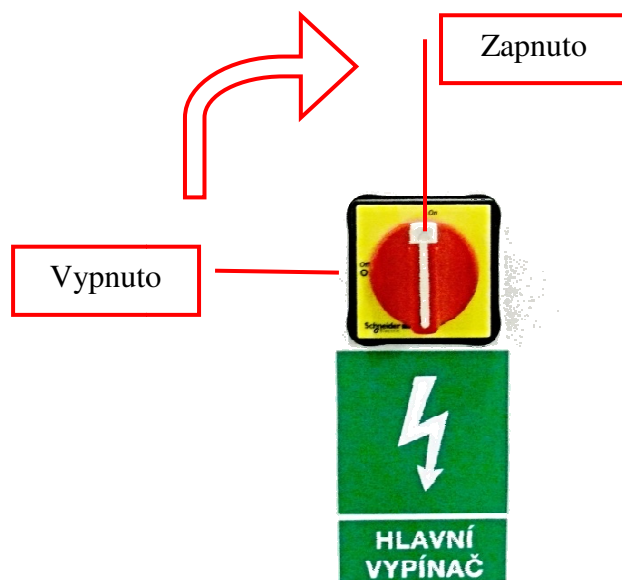
Obr. 17 Rozestup čelistí 20 mm.



Obr. 18 Rozestup čelistí 80 mm.

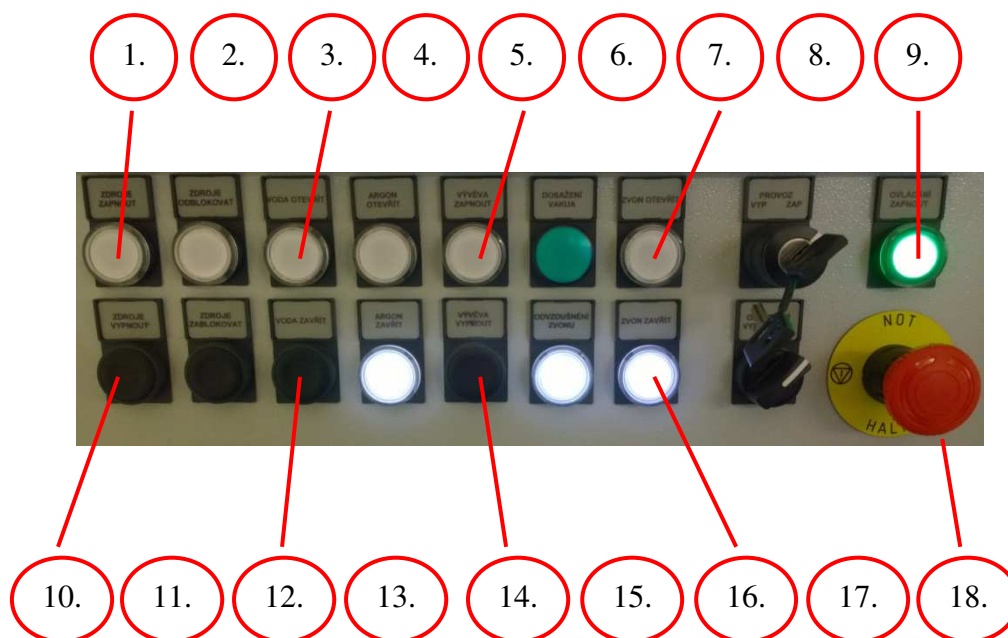
3.5 Práce s teplotním simulátorem StudentCar

Prvním úkolem pro práci s teplotním simulátorem je jeho uvedení do provozu otočením hlavního vypínače nacházejícím se na rozvodové skříni, jenž je vidět na Obr. 19.



Obr. 19 Hlavní vypínač.

Otočením hlavního vypínače dojde k zapnutí PLC řídicího systému, operátorského panelu a dalších komponent řídicího systému. Dále je třeba zapnout a aktivovat tlačítkový operátorský panel, který vidíme na **Obr. 20**.



Obr. 20 Operátorský tlačítkový panel.

Popis operátorského tlačítkového panelu dle pozic tlačítek:

- | | |
|-----------------------|---------------------|
| 1. Zdroje zapnout | 13. Argon zavřít |
| 2. Zdroje odblokovat | 14. Vývěva vypnout |
| 3. Voda otevřít | 15. Odvzdušnit zvon |
| 4. Argon otevřít | 16. Zvon zavřít |
| 5. Vývěva zapnout | 17. Osvětlení |
| 6. Dosažení vakua | 18. Nouzové vypnutí |
| 7. Zvon otevřít | |
| 8. Provoz | |
| 9. Ovládání zapnout | |
| 10. Zdroje vypnout | |
| 11. Zdroje zablokovat | |
| 12. Voda zavřít | |

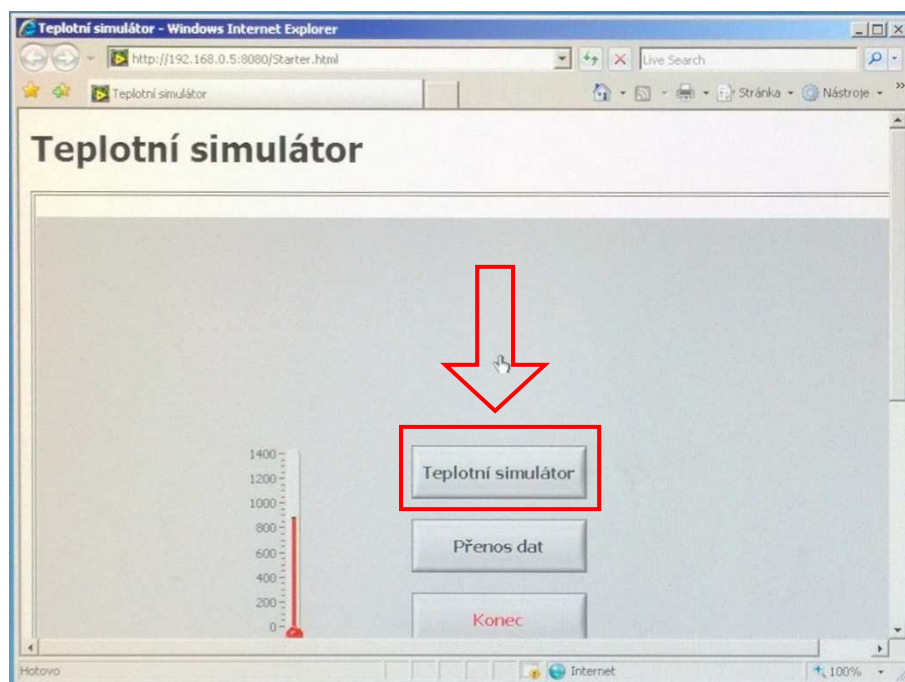
Aktivaci tlačítkového panelu provedeme otočením klíčku „8. *Provoz*“ do polohy zapnuto a aktivaci tlačítek stisknutím tlačítka „9. *Ovládaní zapnout*“, které se zeleně rozsvítí. V tuto chvíli máme operátorský tlačítkový panel v provozu.

Před každým započítím měření na teplotním simulátoru je zapotřebí otevřít ruční kulový ventil na hlavním přívodu vody a poté stiskneme tlačítko „3. *Voda otevřít*“ přičemž uslyšíme, jak cirkuluje vodní chlazení čelistí.

Dále zapneme a připojíme proudový zdroj. To provedeme stisknutím „1. *Zdroje zapnout*“ a připojíme proudový zdroj stisknutím „2. *Zdroje odblokovat*“.

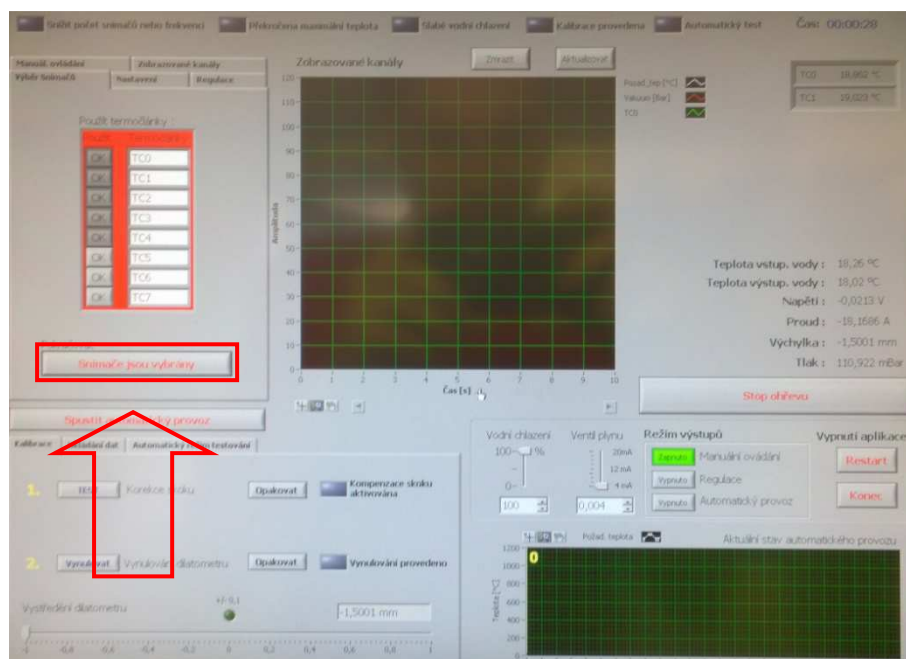
Při potřebě měření ve vakuu jsou pro manipulaci s víkem vakuové komory dvě tlačítka „7. *Zvon otevřít*“ a „16. *Zvon zavřít*“. Pro manipulování se zvonek je nutno odpovídající tlačítko držet stisknuté dokud zvon nedosáhne do své koncové polohy, tam se zastaví a tlačítko se rozsvítí. Pro dosažení vakua v zavřené komoře stiskneme tlačítko „5. *Vývěva zapnout*“, tím se aktivuje vakuová pumpa. Jakmile se v komoře vytvoří vakuum, začne zeleně blikat kontrolka „6. *Dosažení vakua*“. Po ukončení měření je před otevřením zvonu zapotřebí stisknout tlačítko „14. *Vývěva vypnout*“ a poté „15. *Odvzdušnit zvon*“.

Zprovozněním tlačítkového panelu přejdeme na ovládací dotykovou obrazovku, na níž se automaticky spustí aplikace „Teplotní simulátor“ (**Obr. 21**). Zde vybereme volbu „Teplotní simulátor“.



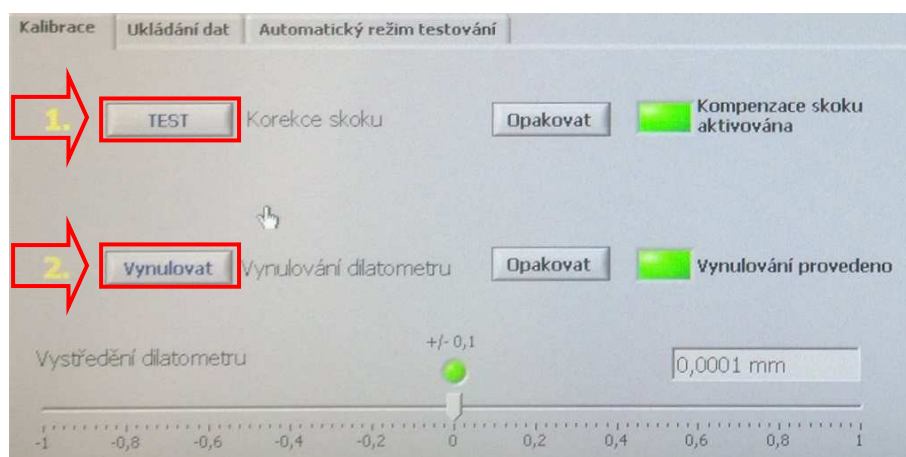
Obr. 21 Aplikace "Teplotní simulátor".

Po zadání volby se načte úvodní obrazovka aplikace. Nejprve musíme v levé horní části obrazovky zvolit v červeně ohraničeném poli počet zapojených měřících termočlánků a potvrdit tlačítkem „Snímače jsou vybrány“ (Obr. 22.).



Obr. 22 Výběr snímačů.

Dále kalibrujeme termočláanky a dilatometr. Kalibrací termočláanky zjistíme, není-li, některý z termočláanků vadný čímž eliminujeme neúspěšné provedení zkoušky. Dilatometr kalibrujeme i v případě, že není zapojen. V levé spodní části obrazovky otevřeme záložku „Kalibrace“. Za 1. provedeme test korekce skoku, vzápětí se rozsvítí zelená kontrolka signalizující úspěšné provedení daného úkolu. Tímto testem zkontrolujeme správnou funkčnost termočláanky. Za 2. dáme vynulování dilatometru po jehož provedení se taktéž rozsvítí zelená kontrolka (**Obr. 23**).

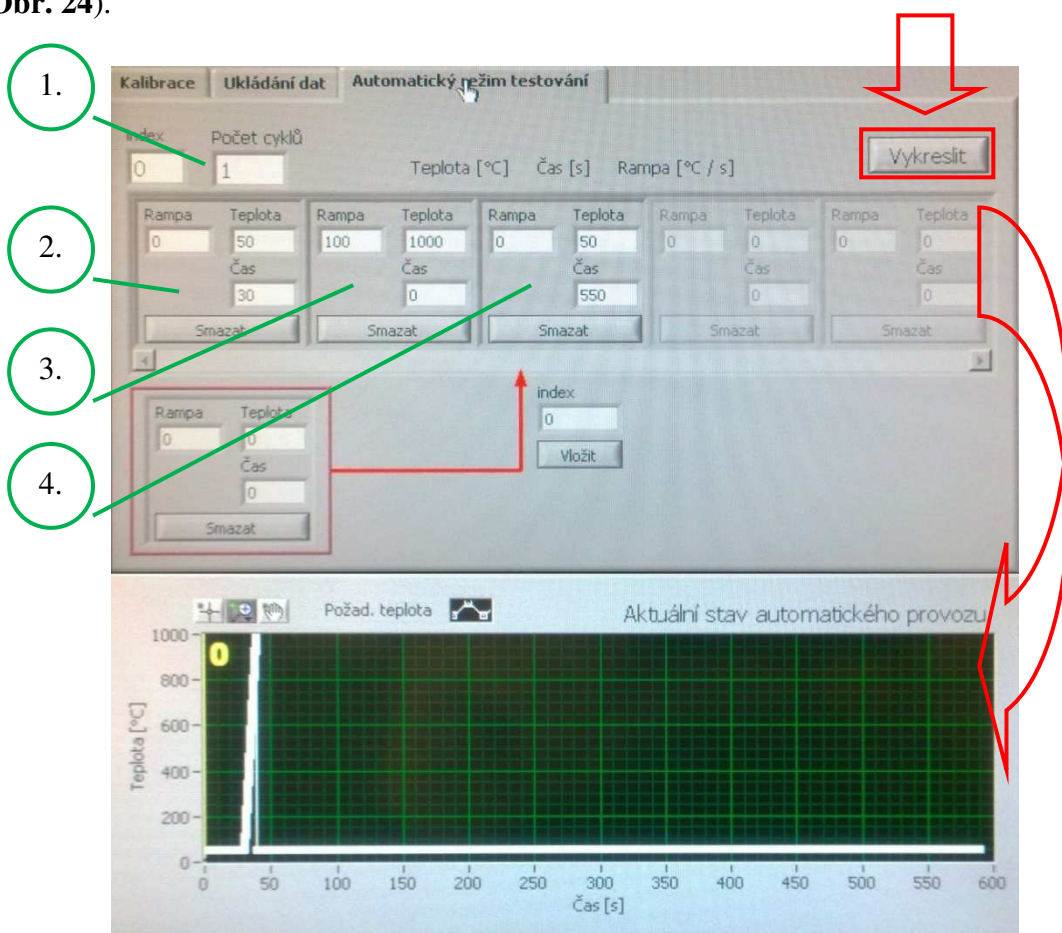


Obr. 23 Kalibrace termočláanků.

Nastavení teplotního průběhu se nachází stále v totožné části obrazovky pod záložkou „Automatický režim testování“. V tomto panelu nadefinujeme pro experiment zjištění limitních ochlazovacích rychlostí s odlišnými chladícími prostředími tyto data:

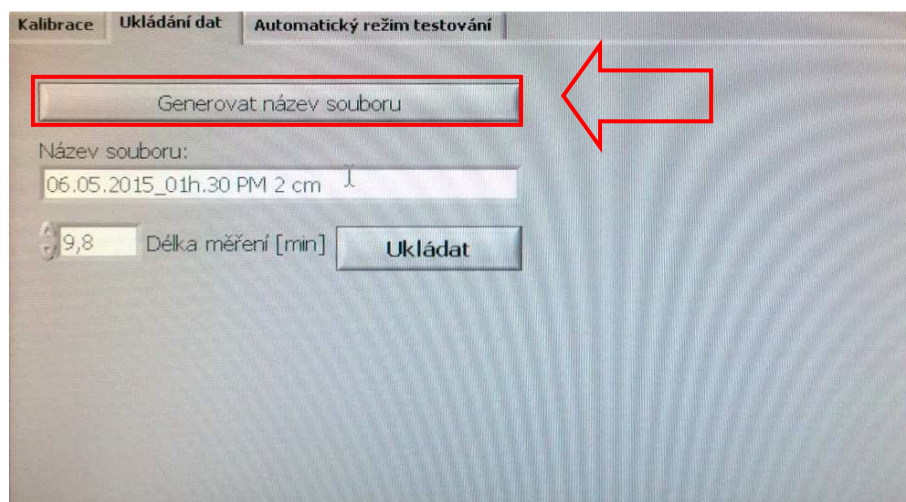
1. Počet cyklů: 1
2. Rampa: 0 °C/s, Teplota: 50 °C Čas: 30 s
3. Rampa: 100 °C/s, Teplota: 1000 °C Čas: 0 s
4. Rampa: 0 °C/s, Teplota: 50 °C Čas: 550 s

Dokončení nastavení teplotního průběhu provedeme tlačítkem „Vykreslit“ po jejímž označení se nám v pravé dolní části obrazovky vykreslí naprogramovaný graf (Obr. 24).



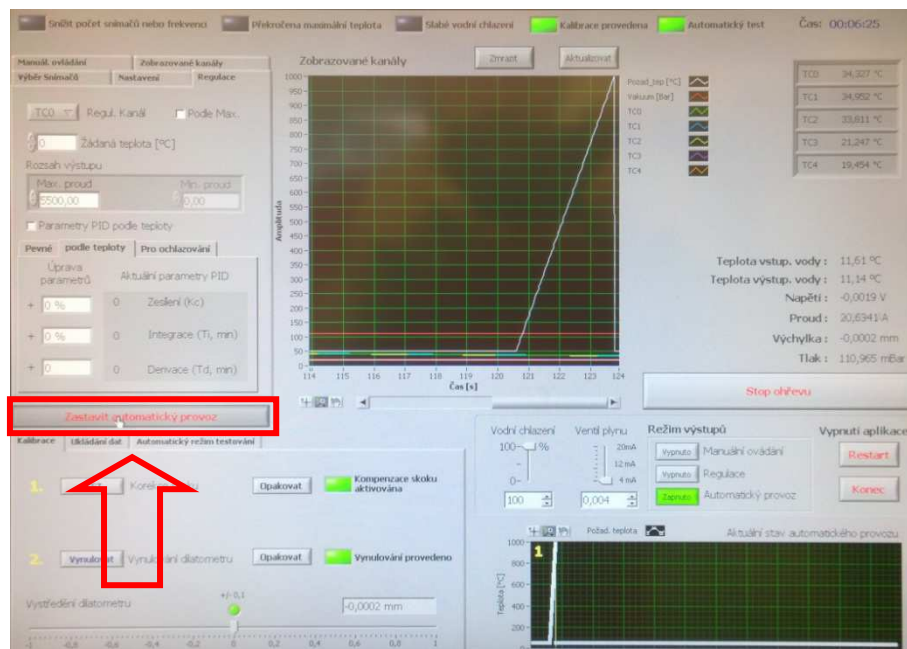
Obr. 24 Nastavení automatického režimu testování.

Pokračujeme záložkou „Ukládání dat“. Před spuštěním experimentu je potřeba zadat nový název, jinak hrozí přepsání dat z poslední zkoušky. Z tohoto důvodu zadáme „Generovat název souboru“. Vygenerovaný název je ve formě datum a čas. V případě potřeby si doplníme další informace o prováděné zkoušce jak je vidět na **Obr. 25**, pozn.: 2cm, což znamená rozchod mezi čelistmi 2 cm.



Obr. 25 Ukládání dat.

Nyní máme vše připraveno pro zahájení experimentu. Ten započneme tlačítkem „Spustit automatický provoz“ (**Obr. 26**).



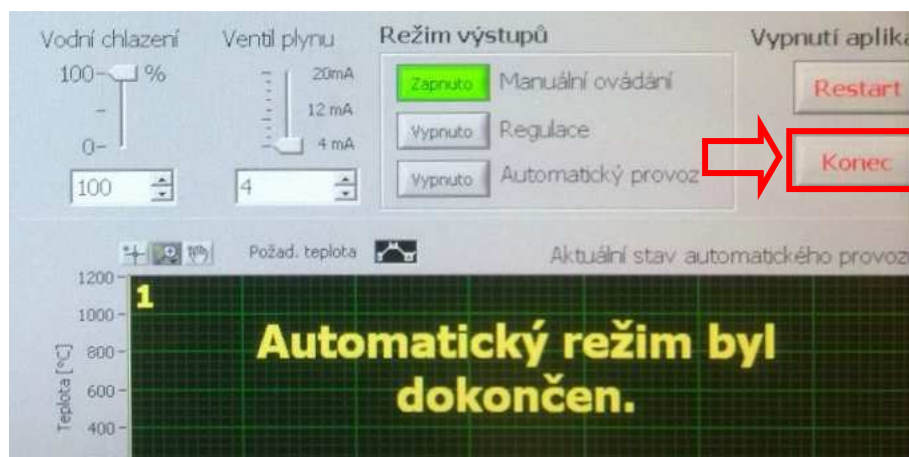
Obr. 26 Spustit automatický provoz.

Na **Obr. 27** vidíme upnutý vzorek s rozestupem čelistí 70mm, stadium ochlazování ve vakuované komoře přestupem tepla vodou chlazenými čelistmi z teploty 1000 °C.



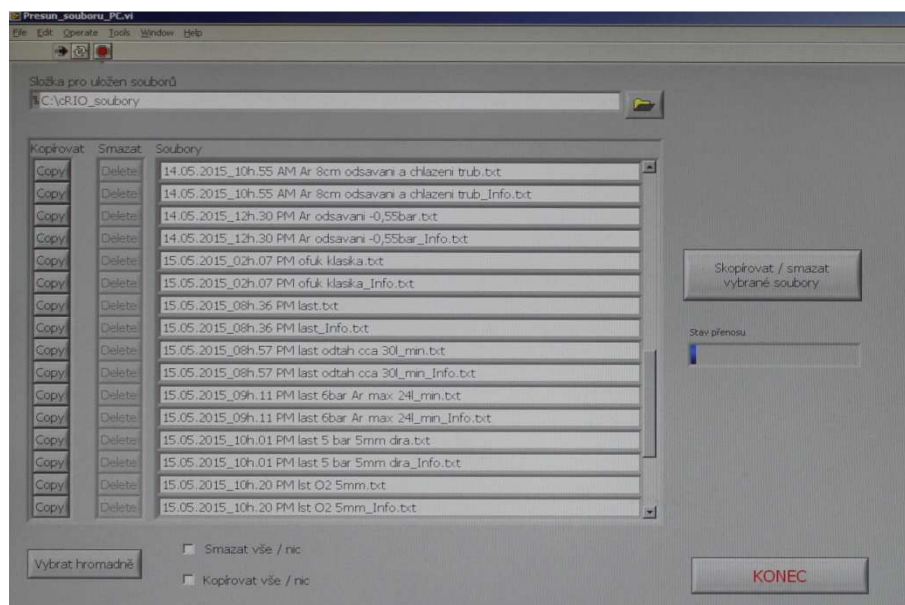
Obr. 27 Rozestup čelisti 70 mm, ve vakuu.

Jakmile je experiment hotov, zobrazí se v pravé dolní části obrazovky místo vykresleného grafu průběhu nápis „Automatický režim byl dokončen“. Poté klikneme na tlačítko „Konec“. Tyto úkony vidíme na **Obr. 28**.



Obr. 28 Dokončení automatického režimu.

Po ukončení experimentu se uložená naměřená data nacházejí v aplikaci „Přesun souboru“. Otevřeme aplikaci a zobrazí se nám seznam naměřených dat. Vybereme potřebné soubory a označíme je tlačítkem „Copy“. Poté vybereme cílové uložení dat a stiskneme tlačítko „Zkopírovat / smazat vybrané soubory“ (**Obr. 29**).



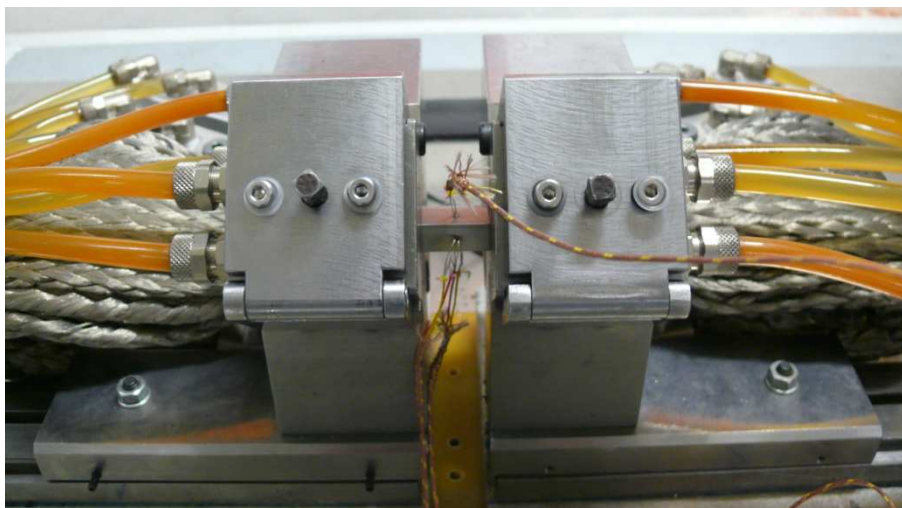
Obr. 29 Aplikace Přesun souborů.

4. MĚŘENÍ RYCHLOSTI OCHLAZOVÁNÍ

Měření rychlosti ochlazování bylo provedeno ohřevem vzorku na 1000°C a poté zjišťována doba, za kterou se vzorek ochladí z 950°C na 50°C s rozestupem vodou chlazených čelistí počínající od 2 cm, s postupným rozšířením čelistí od sebe o +1 cm až po koncovou hranici 8 cm, ve vybraných chladících prostředích. Podmínky měření byly vždy stejné, tj. teplota v laboratoři $18^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ a teplota vodou chlazených čelistí $8,5^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

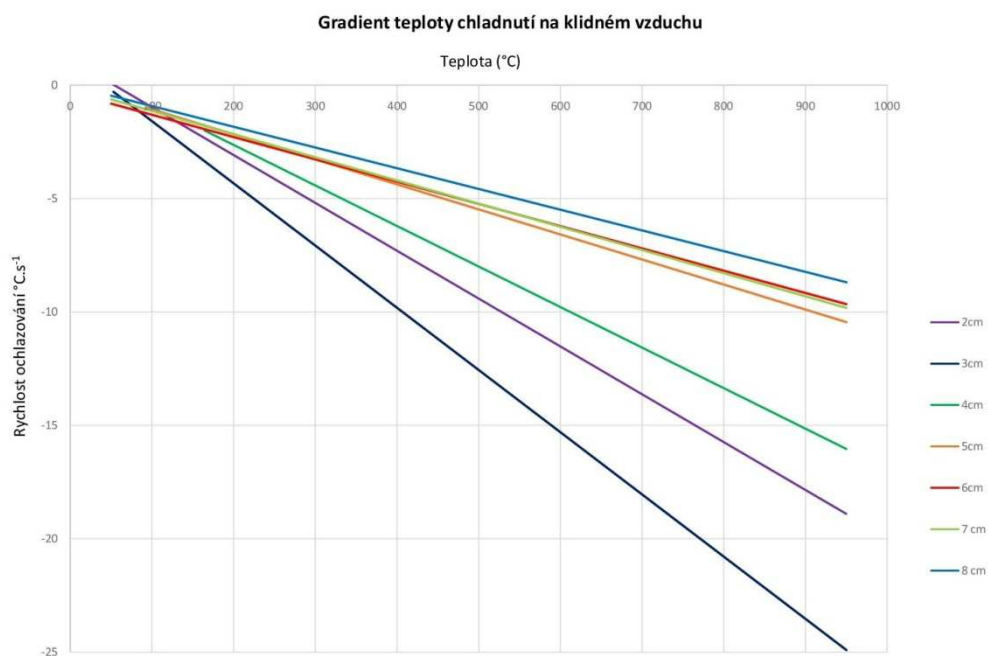
4.1 Ochlazování na klidném vzduchu

Měření ochlazování probíhá v klidném vzduchu, kde je vzorek uchycen do vodou chlazených čelistí. (**Obr. 30**).



Obr. 30 Vzorek v čelistech pro ochlazování na klidném vzduchu.

Zde bylo odměřeno sedm vzorků a to s rozstupem čelistí 2cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm, 7 cm a 8cm. Rychlost ochlazování v °C/s na klidném vzduchu vidíme na **Obr. 31.**



Obr. 31 Rychlost ochlazování na klidném vzduchu.

Z naměřených dat (v příloze na CD) vyplývá, že čím jsou čelisti od sebe dále, tím déle trvá ochlazování vzorku. V tomto případě trvalo ochlazení z 950 °C na 50 °C s rozstupem čelistí 8 cm přesně 484,62 s.

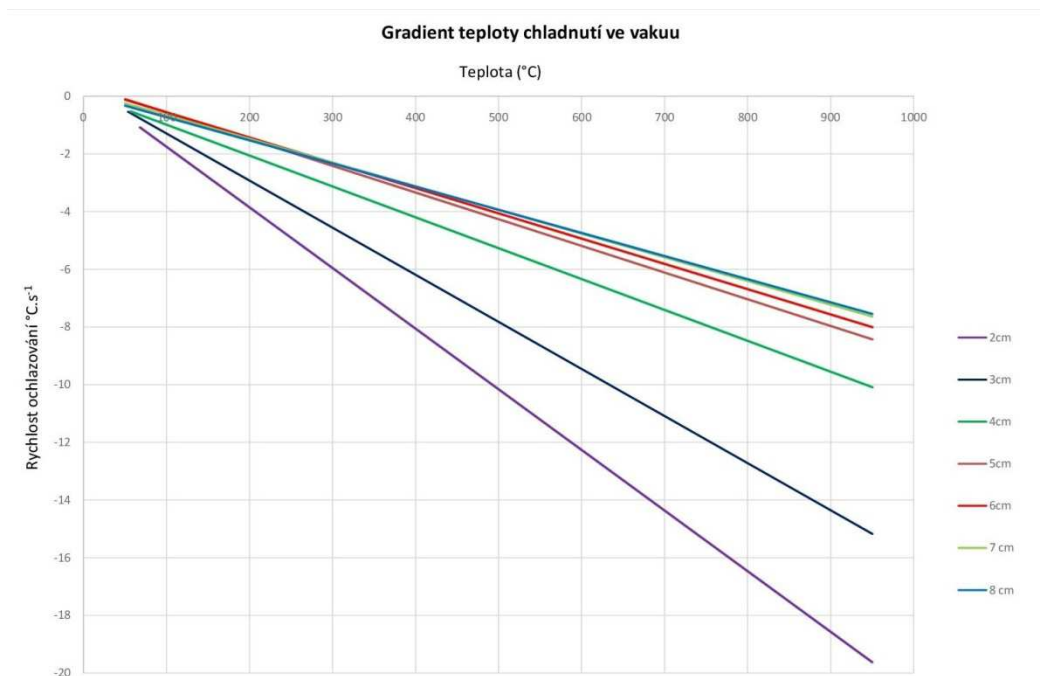
4.2 Ochlazování ve vakuu

Následující provedená metoda je ochlazování ve vakuu. Vzorek je uchycen do čelistí, uzavře se vakuový zvon (**Obr. 32**) a spustí vakuová pumpa. Po dosažení vakua spustíme měření.



Obr. 32 Vzorek uzavřený vakuovým zvonem.

Na **Obr. 33** vidíme naměřená data ochlazování ve vakuu s rozestupem čelistí po 1 cm od počátečních 2 cm až po koncových 8 cm.

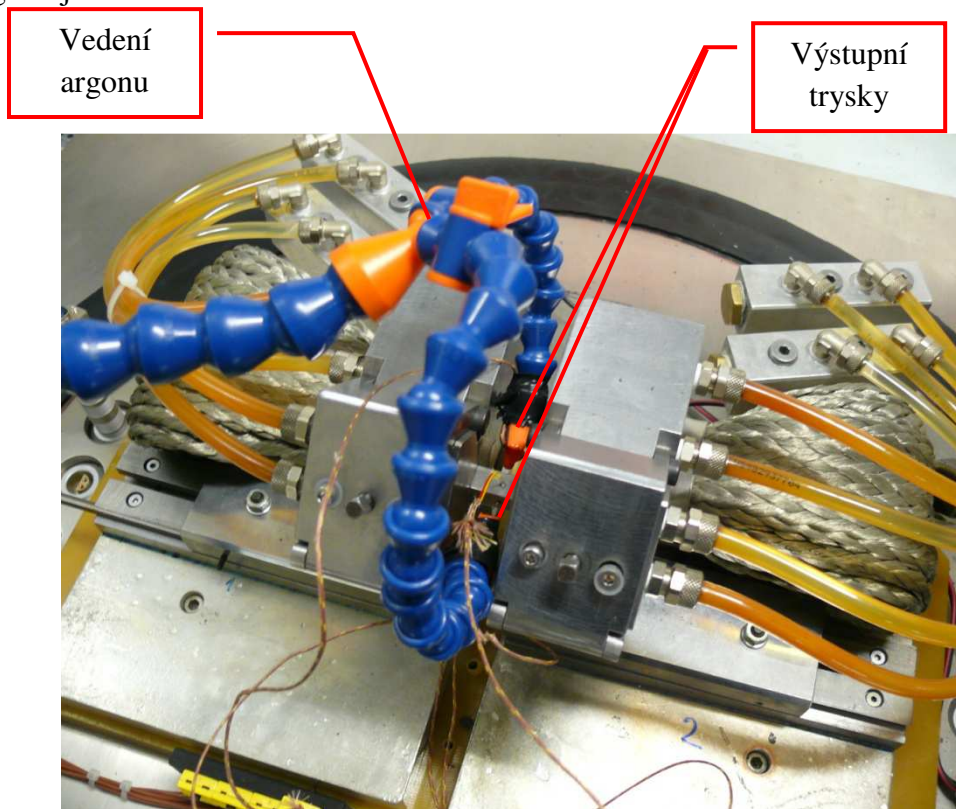


Obr. 33 Rychlost ochlazování ve vakuu.

Z naměřených dat (v příloze na CD) vyčteme, že ochlazení ve vakuu z $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ na $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ s rozestupem čelistí 8 cm setrvalo 551,30 s.

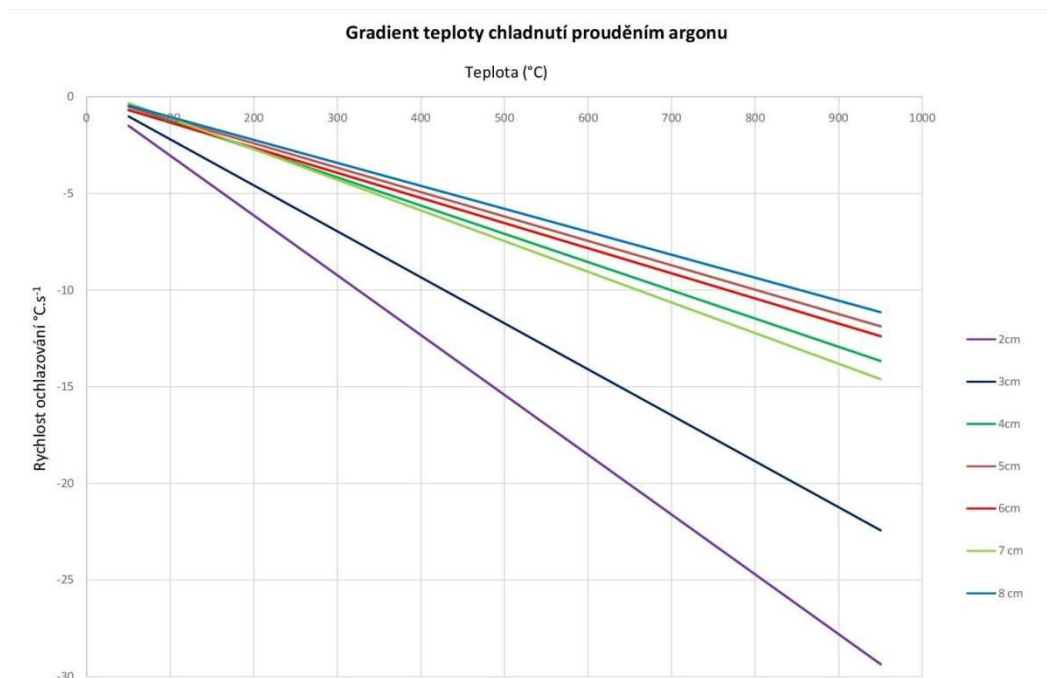
4.3 Ochlazování prouděním argonu na klidném vzduchu

Argon proudící na vzorek vytváří ochrannou atmosféru, jež chrání povrch vzorku proti tvoření okují. Uchycený vzorek v čelistech s tryskami pro vyústění argonu je na **Obr. 34**.



Obr. 34 Vzorek s tryskami pro chlazení argonem.

Provedlo se také sedm měření s rozestupy čelistí od 2 cm do 8 cm. Rychlost ochlazování v $^{\circ}\text{C/s}$ na klidném vzduchu vidíme na **Obr. 35**.

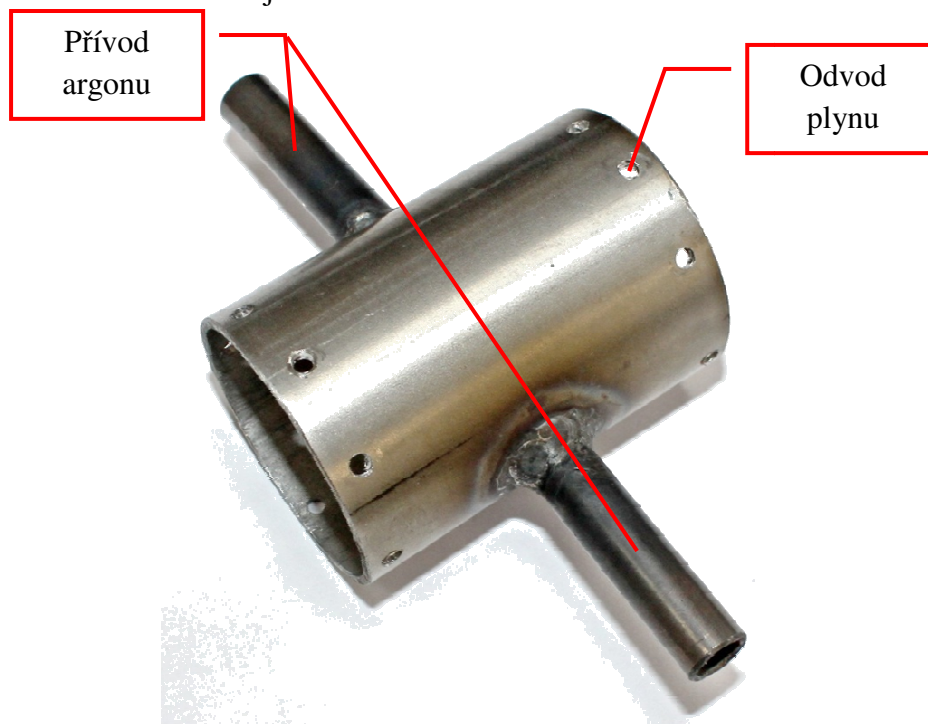


Obr. 35 Rychlost ochlazování prouděním argonu na vzorek.

Doba ochlazování prouděním argonu na vzorek činí 361,42 s.

Z naměřených dat (v příloze na CD) vyplývá, že tato metoda má doposud nejrychlejší dobu ochlazování i při měření s rozstupem čelistí 8 cm.

Zhotovená trubice je na **Obr. 37**.



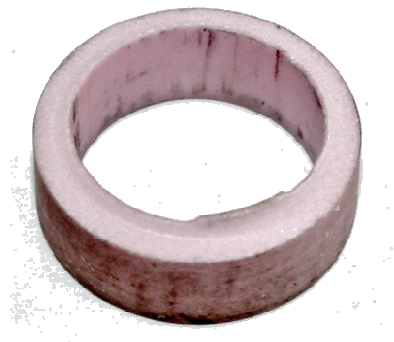
Obr. 37 Nerezová trubice se dvěma vstupy argonu.

Izolace mezi trubicí a čelistmi se skládá ze dvou částí. První část je teflonový kroužek pro nerezovou trubici (**Obr. 38**) z PTFE (polyterafluorethen), jenž je dostatečně izolačně odolný. Výrobní výkres je obsažen v příloze na CD.



Obr. 38 Teflonový izolační kroužek pro nerezovou trubici.

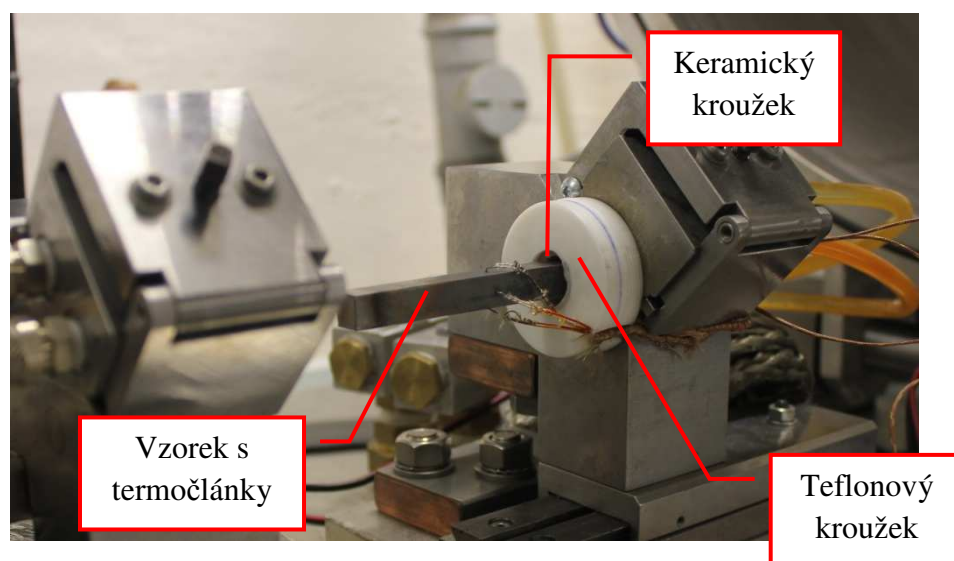
Druhá část je keramický kroužek (**Obr. 39**) vsazený mezi teflonový kroužek a vzorek. Výrobní výkres je obsažen v příloze na CD.



Obr. 39 Keramický kroužek.

Postup instalace vzorku s trubicí:

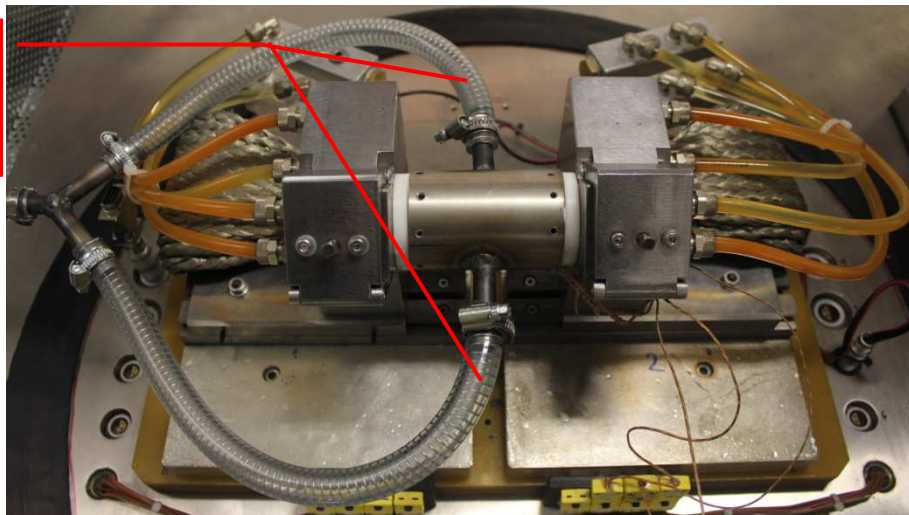
Nejprve si na vzorek osazený termočlánky navlečeme teflonový s keramickým kroužkem a upneme 1 cm jeho konec do čelistí **Obr. 40**.



Obr. 40 Vzorek s kroužky v čelisti.

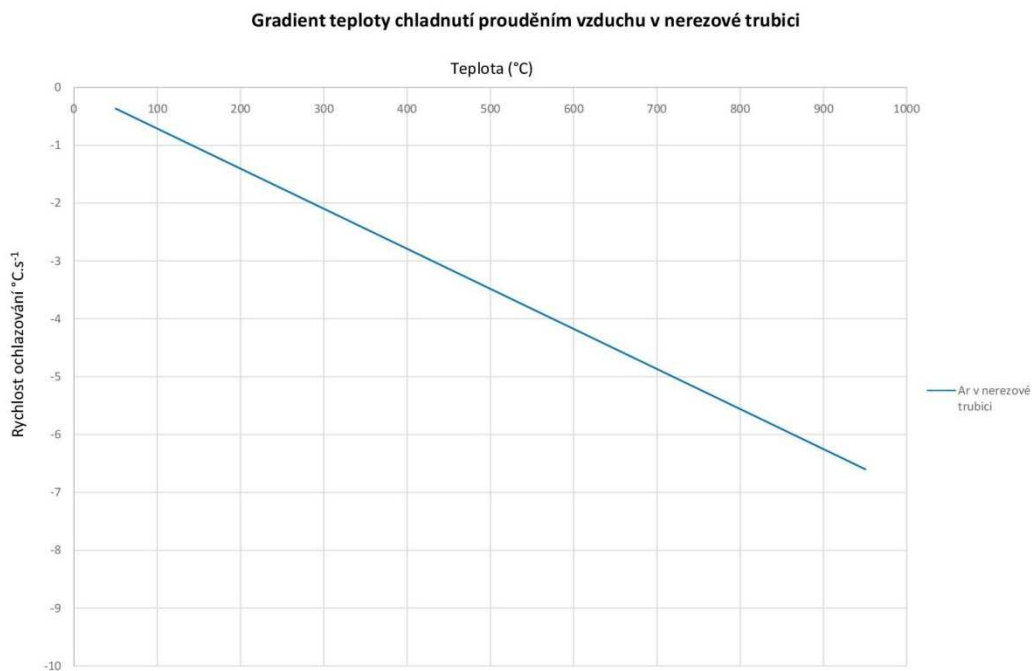
Poté termočlánkové dráty protáhneme vybráním v teflonovém kroužku a nasadíme trubici. Nasadíme druhý teflonový s keramickým kroužkem a trubici jím uzavřeme. Nyní druhou koncovou část upneme do druhé čelisti. Poté připojíme a zajistíme přívod argonu. Kompletní sestavu vidíme na **Obr. 41**.

Napojení
přívodní
hadice



Obr. 41 Nerezová trubice s kolmým přívodem argonu.

Nyní je vše připraveno k měření. Odměřená data (v příloze na CD) rychlosti ochlazování v $^{\circ}\text{C/s}$ vidíme na **Obr. 42**.

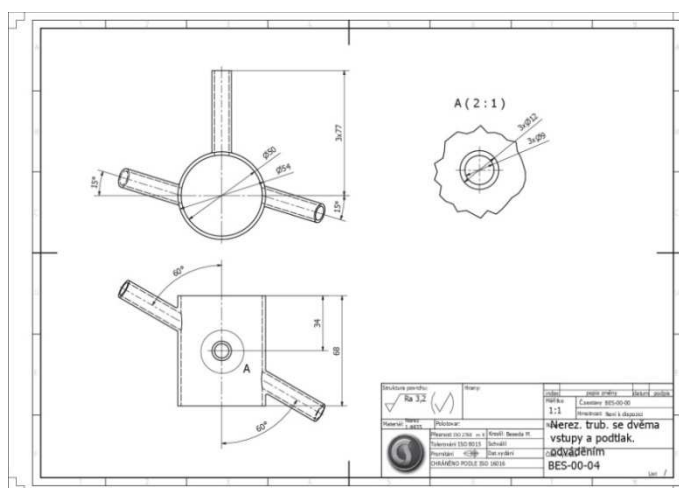


Obr. 42 Rychlost ochlazování prouděním argonu v nerezové trubici.

Doba ochlazování v závislosti na čase prouděním argonu v nerezové trubici činí 431,6 s.

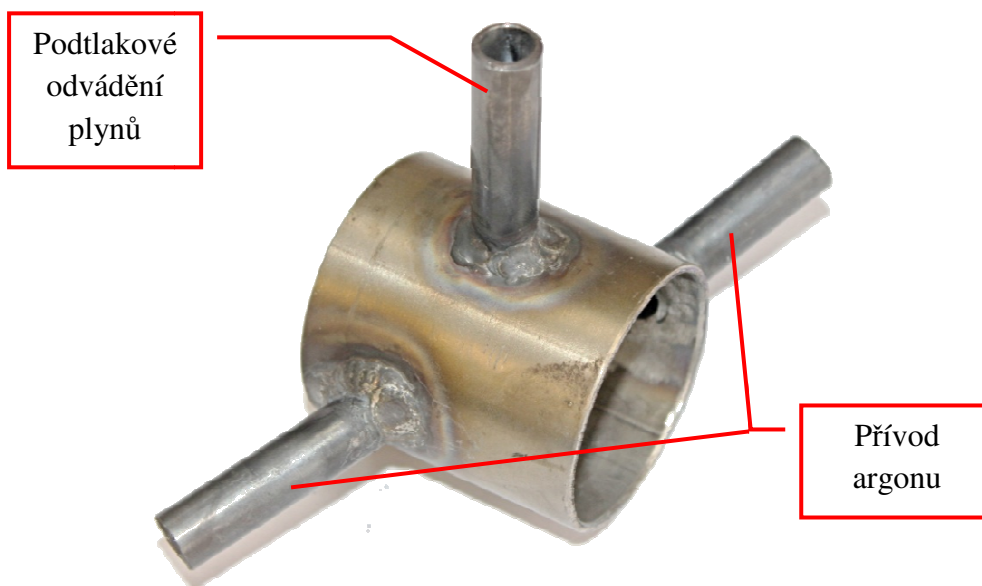
5.2 Nerezová trubice se dvěma vstupy a odsáváním

Navrhovanou úpravou je nerezová trubice se dvěma vstupy a jedním výstupem plynů. Vstupní přívody argonu jsou ve stejné rovině pod úhlem k plášti trubice. Výstupní odvod je kolmý k vstupním přívodům i k povrchu trubice a nachází se v jejím středu, jak vidíme na **Obr. 43** výrobní výkres, jenž je obsažen v příloze na CD.



Obr. 43 Výrobní výkres nerezové trubice se dvěma vstupy a odsáváním.

Zhotovená trubice dle výkresu je na **Obr. 44.**



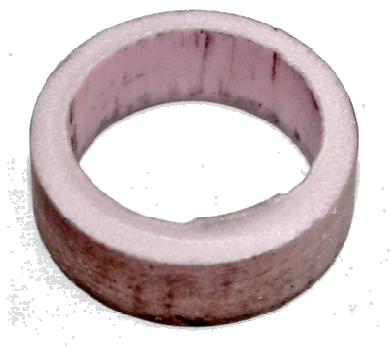
Obr. 44. Nerezová trubice se dvěma vstupy argonu a odsáváním.

Izolace mezi trubicí a čelistmi se skládá ze dvou částí. První část je teflonový kroužek pro nerezovou trubicí (**Obr. 45**) z PTFE (polyterafluorethen), jenž je dostatečně izolačně odolný. Výrobní výkres je obsažen v příloze na CD.



Obr. 45 Teflonový izolační kroužek pro nerezovou trubicí.

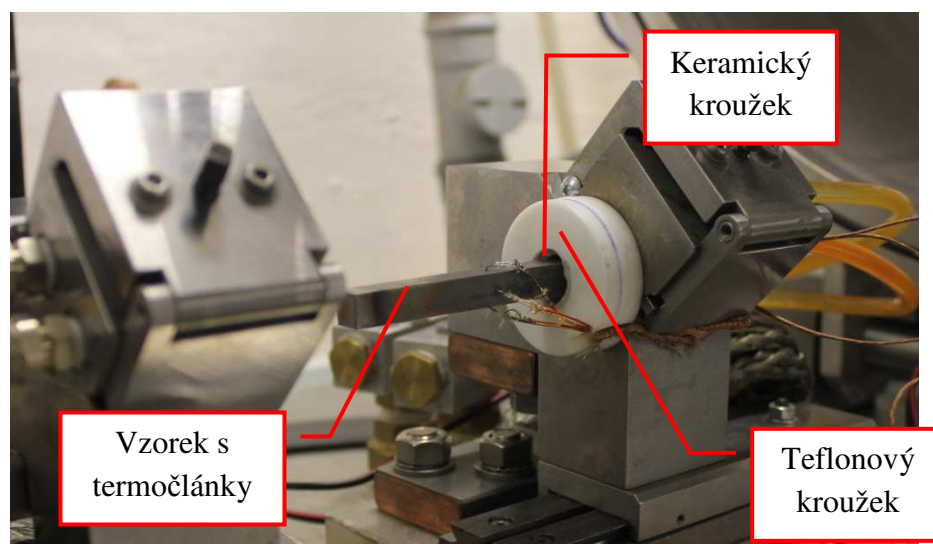
Druhá část je keramický kroužek (**Obr. 46**) vsazený mezi teflonový kroužek a vzorek. Výrobní výkres je obsažen v příloze na CD.



Obr. 46 Keramický kroužek.

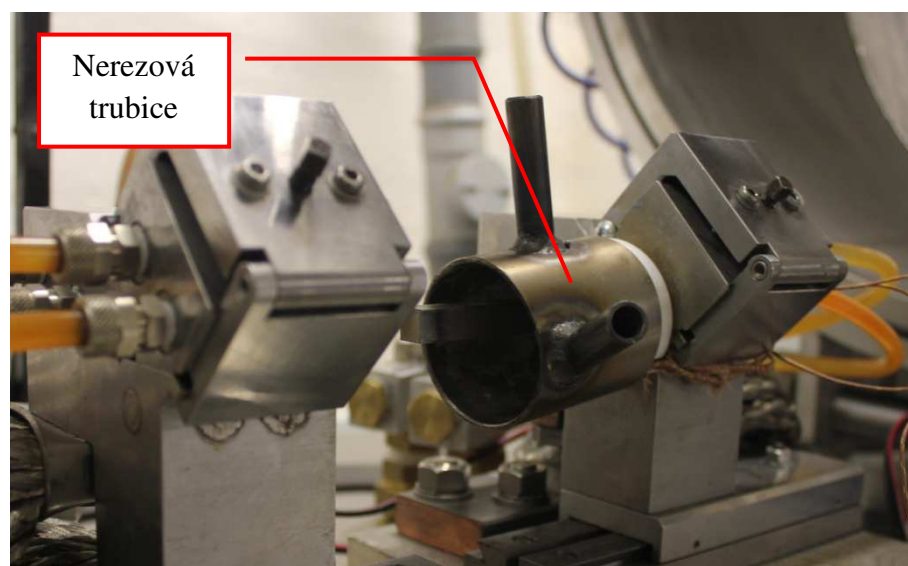
Postup instalace vzorku s trubicí:

Nejprve si na vzorek osazený termočlánky navlečeme teflonový kroužek do něj keramickým kroužek a upneme 1 cm jeho konec do čelisti **Obr. 47**.



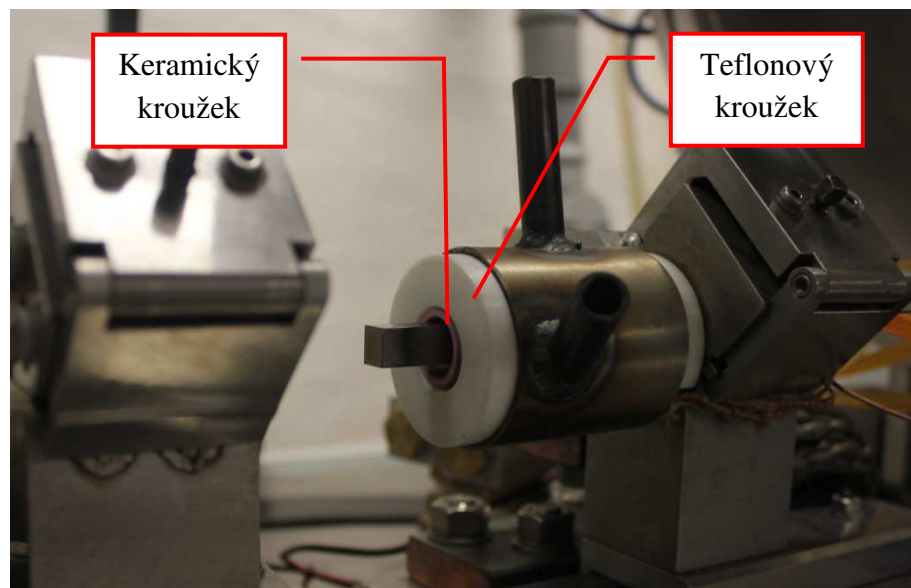
Obr. 47 Vzorek s kroužky v čelisti.

Poté termočláňkové dráty protáhneme vybráním v teflonovém kroužku a nasadíme nerezovou trubici (**Obr. 48**).



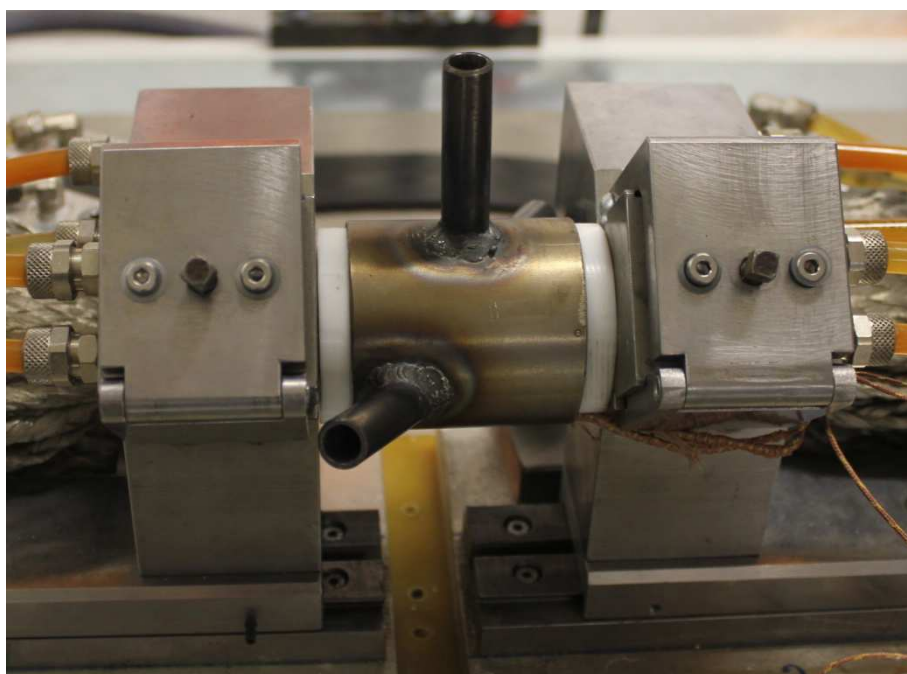
Obr. 48 Nasazená nerezová trubice.

Nasadíme druhý teflonový kroužek s keramickým kroužkem a trubici jím uzavřeme (**Obr. 49**).



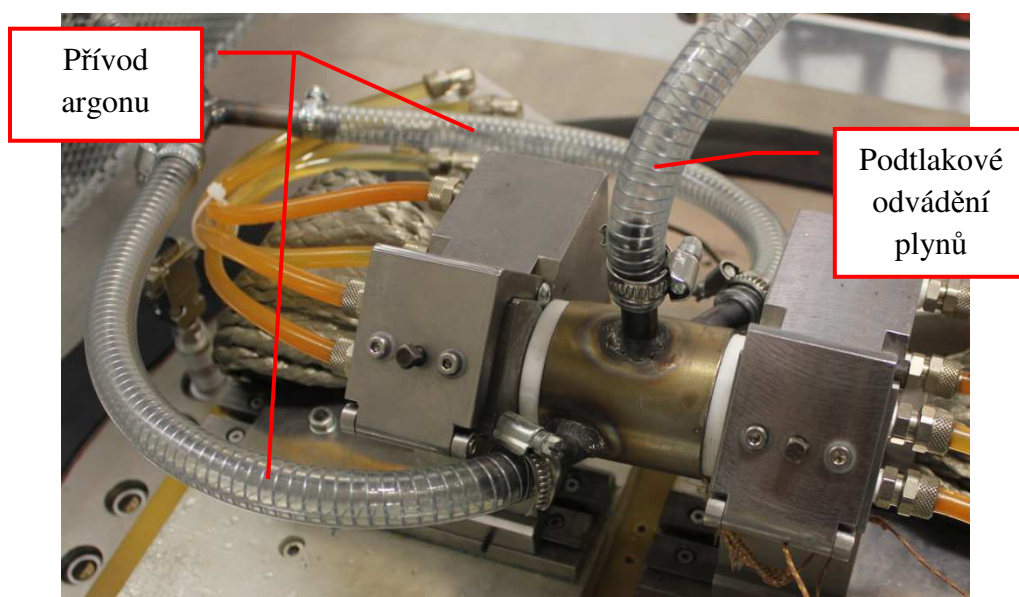
Obr. 49 Uzavření nerezové trubice izolačními kroužky.

Nyní druhou koncovou část vzorku upneme do druhé čelisti (**Obr. 50**).



Obr. 50 Upnutý vzorek s nerezovou trubicí.

Poté připojíme přívod argonu a podtlakové odvádění plynů (**Obr. 51**).



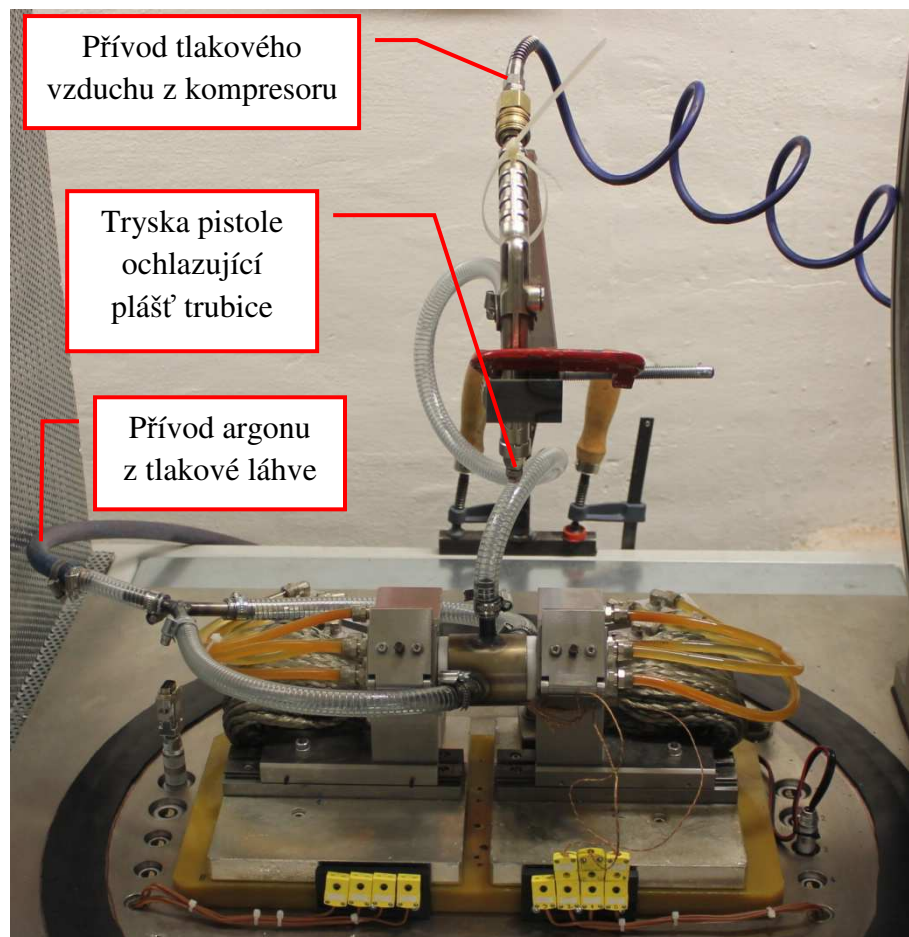
Obr. 51 Trubice s připojenými vstupy a výstupy.

Nastavíme konzervační pistoli GV-0730 GAV (**Obr. 52**), která nám zajišťuje pomocí vyvolání podtlaku odvádění plynů z trubice, do pozice, aby ofukovala vrchní část pláště trubice.



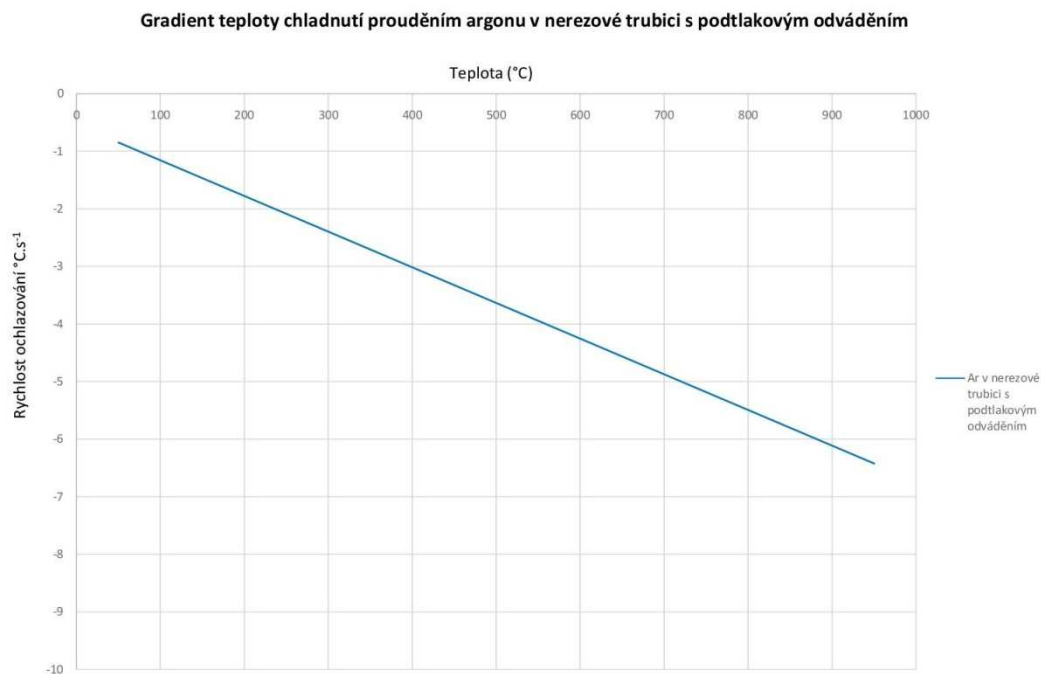
Obr. 52 Konzervační pistoli GV-0730 GAV.

Kompletní sestavu k ochlazení vzorku v ochranné atmosféře argonu včetně příslušenství vidíme na (**Obr. 53**).



Obr. 53 Sestava s nerezovou trubicí.

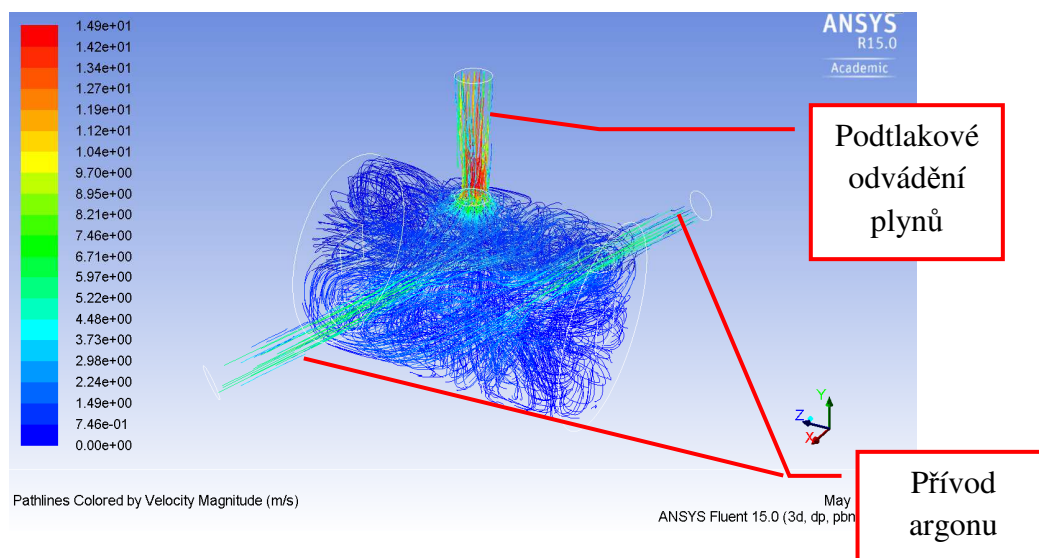
Zpracované data (v příloze na CD) v podobě grafu ukazujícího rychlost ochlazování v $^{\circ}\text{C/s}$ vidíme na **Obr. 54**.



Obr. 54 Rychlost ochlazování prouděním argonu v nerezové trubici s podtlakovým odváděním plynů.

V tomto případě doba ochlazení prouděním argonu v nerezové trubici s podtlakovým odváděním plynů proběhla za 264,26 s. Z grafu vyplývá, že předpokládané proudění v trubici je turbulentní a projevuje se vlněním ochlazovací křivky.

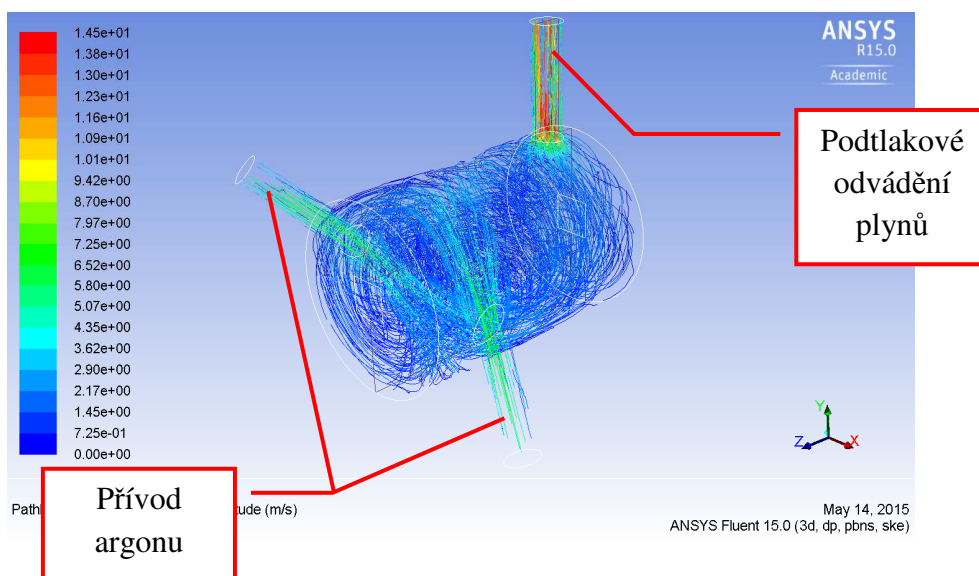
Z tohoto důvodu jsem provedl simulaci momentálního stavu předpokládaného proudění v trubici, kterou vidíme na **Obr. 55**.



Obr. 55 Simulace předpokládaného proudění v nerezové trubici.

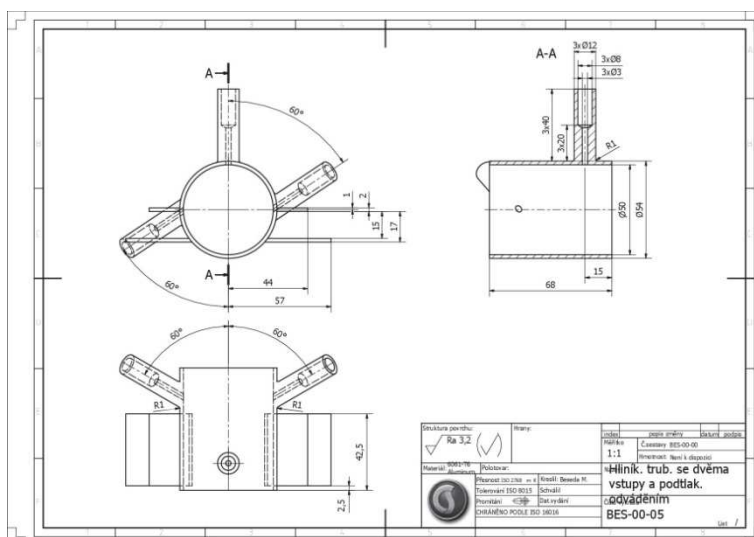
5.3 Hliníková trubice se dvěma vstupy a odsáváním

Úpravou předešlého návrhu je změna vstupních a výstupních otvorů. Snahou bylo zlepšit proudění v trubici, jehož předpokládanou simulaci vidíme na **Obr. 56**.



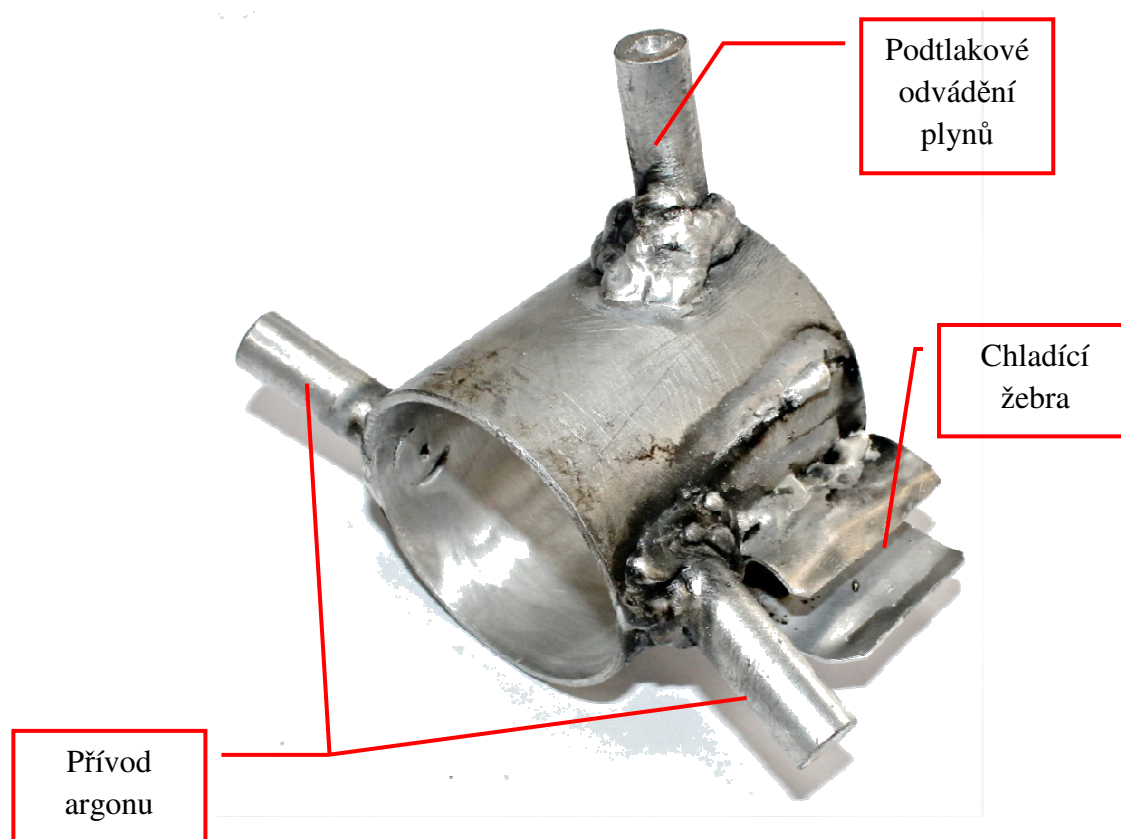
Obr. 56 Simulace předpokládaného proudění v hliníkové trubici.

Přičemž změnou prošel i použitý materiál trubice z nerezového na hliníkový, abychom dosáhli rychlejšího ochlazení pláště trubice, k čemuž přispívají přidaná žebra. Na **Obr. 57** vidíme výrobní výkres, jenž je obsažen v příloze na CD.



Obr. 57 Výrobní výkres hliníkové trubice se dvěma vstupy a odsáváním

Zhotovená trubice je na **Obr. 58**.



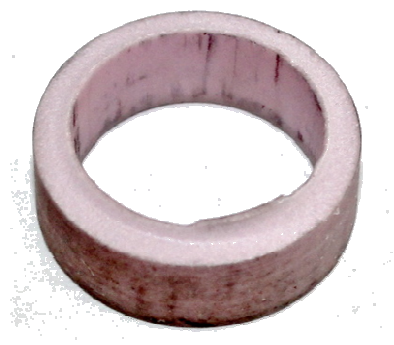
Obr. 58 Hliníková trubice se dvěma vstupy argonu a odsáváním.

Izolace mezi trubicí a čelistmi se skládá ze dvou částí. První část je teflonový kroužek pro hliníkovou trubici (**Obr. 59**) z PTFE (polyterafluorethen), jenž je dostatečně izolačně odolný, jeho výrobní výkres je obsahem přílohy. Výrobní výkres je obsažen v příloze na CD.



Obr. 59 Teflonový izolační kroužek pro hliníkovou trubici.

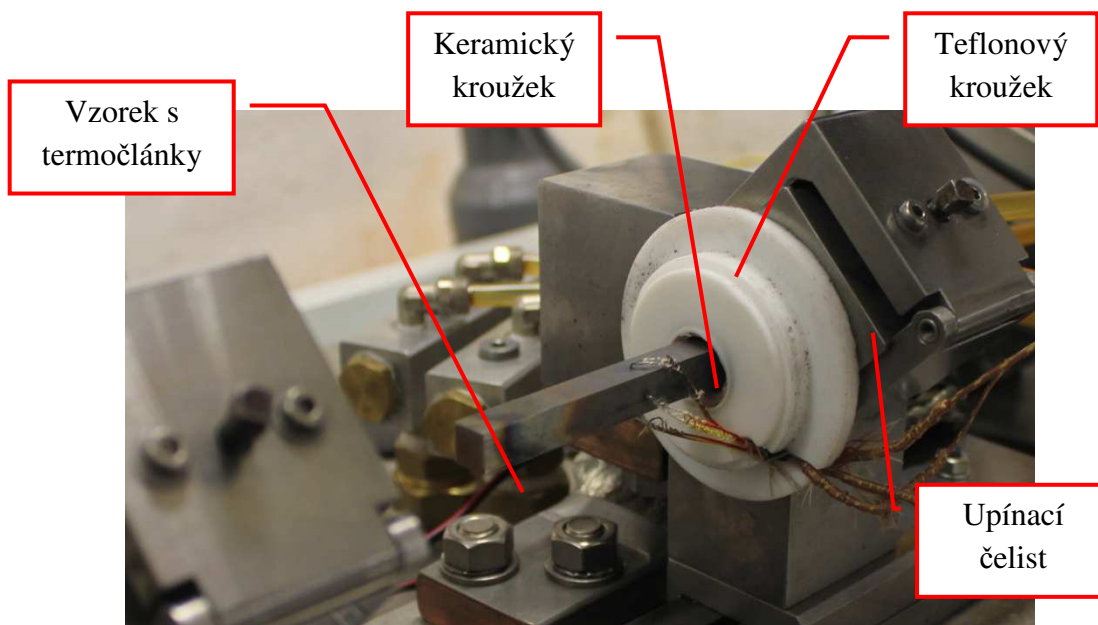
Druhá část je keramický kroužek (**Obr. 60**), jeho výrobní výkres je obsahem přílohy, vsazený mezi teflonový kroužek a kontakt se vzorkem, který by samotný teflon nevydržel. Výrobní výkres je obsažen v příloze na CD.



Obr. 60 Keramický kroužek.

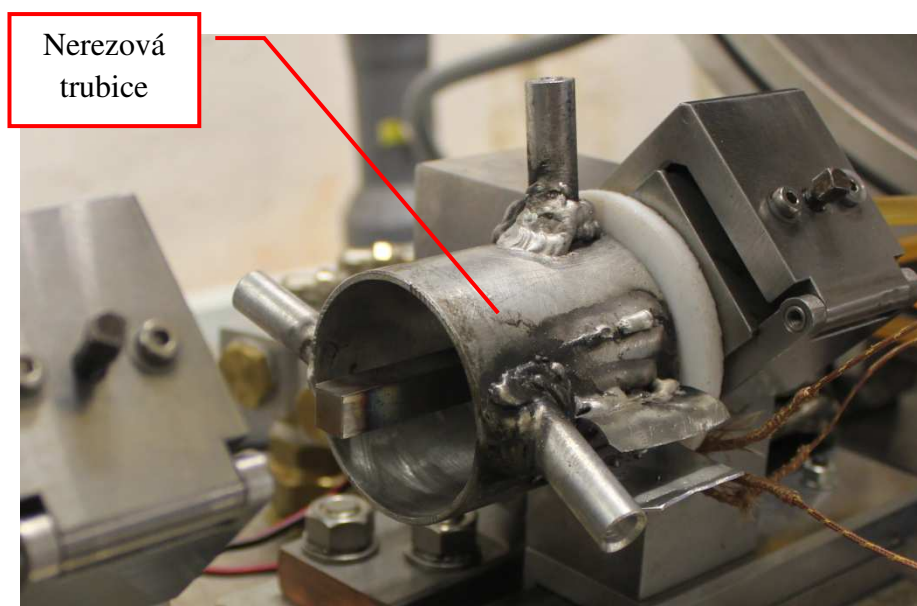
Postup instalace vzorku s trubicí:

Nejprve si na vzorek osazený termočlánky nasadíme keramický a na něj teflonový kroužek a upneme 1 cm konec vzorku do čelisti, viz. **Obr. 61**.



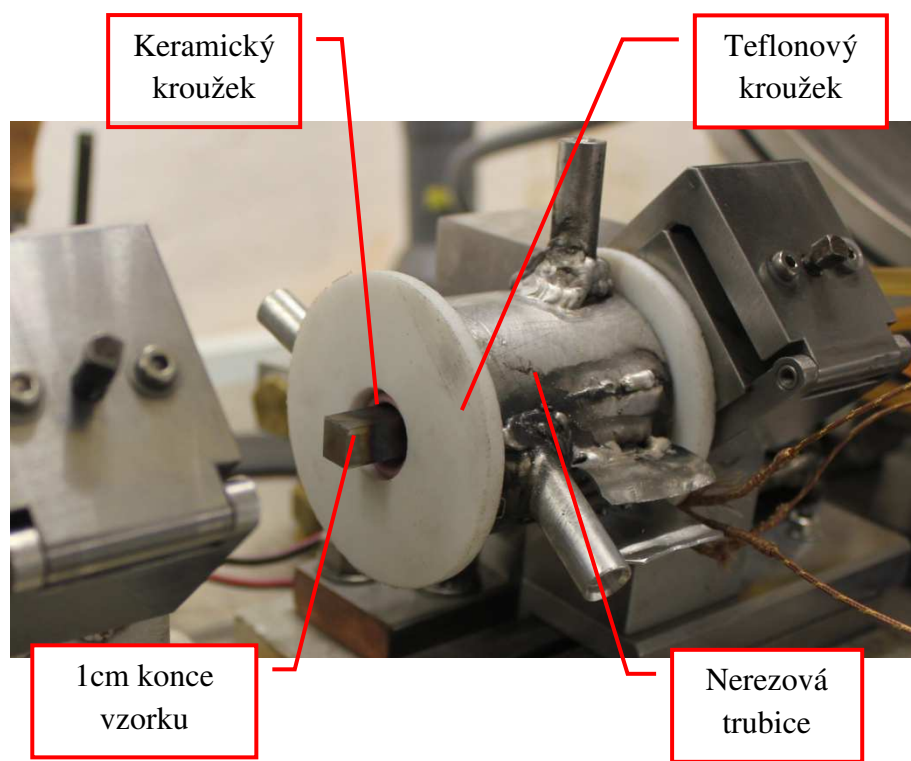
Obr. 61 Vzorek s izolačními kroužky v čelisti.

Poté termočlánekové dráty protáhneme vybráním v teflonovém kroužku a nasadíme hliníkovou trubicí (**Obr. 62**).



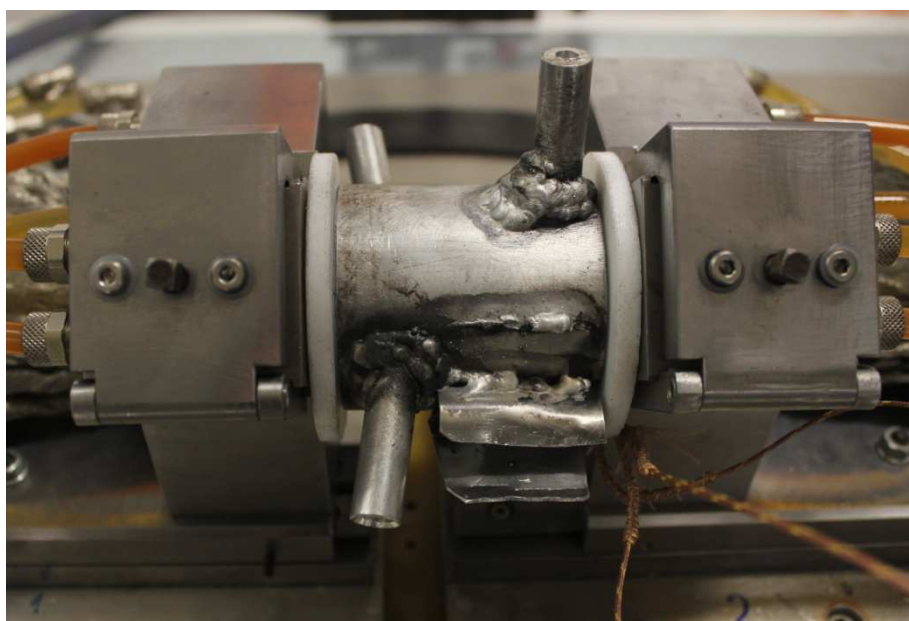
Obr. 62 Nasazená hliníková trubice.

Nasadíme druhý teflonový kroužek s keramickým kroužkem a trubicí jím uzavřeme (**Obr. 63**).



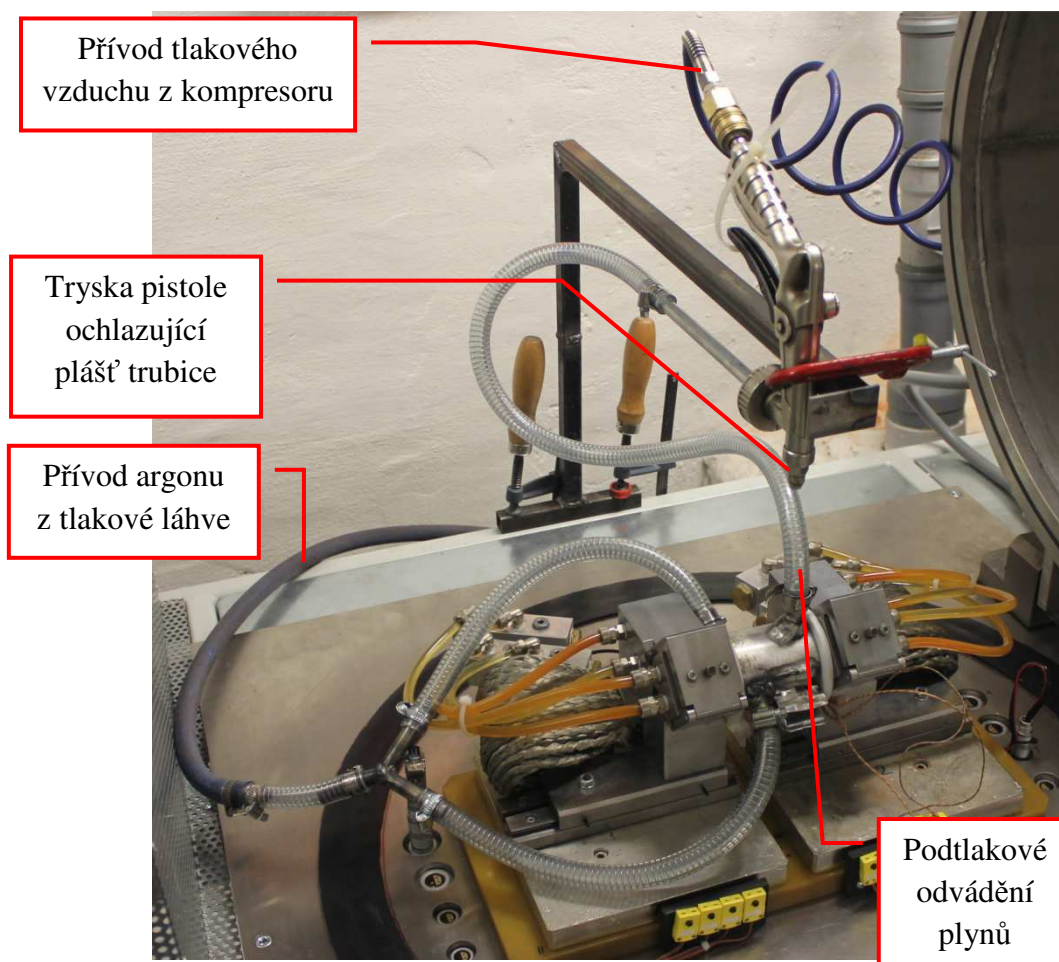
Obr. 63 Uzavření hliníkové trubice izolačními kroužky.

Nyní druhou koncovou část vzorku upneme do druhé čelisti **Obr. 64**.



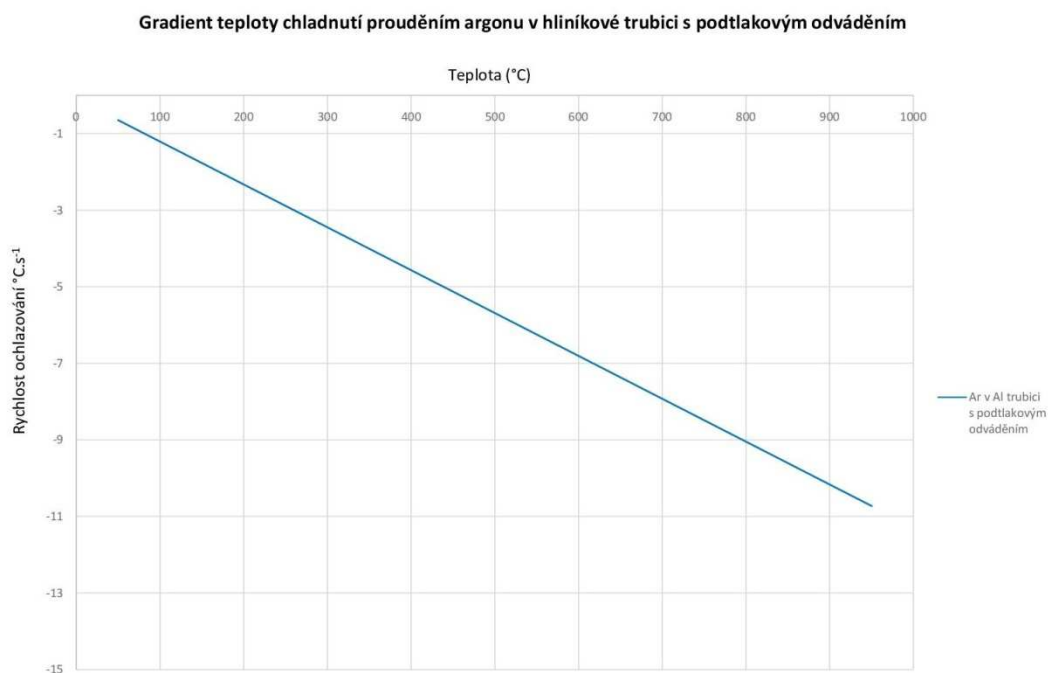
Obr. 64 Upnutý vzorek s hliníkovou trubicí.

Poté připojíme přívod argonu a podtlakové odvádění plynů a nastavíme konzervační pistoli, aby ofukovala vrchní část pláště trubice. Kompletní sestavu vidíme na **Obr. 65**.



Obr. 65. Sestava s hliníkovou trubicí.

Graf teplotní křivky rychlosti ochlazování v $^{\circ}\text{C/s}$ proudění argonu v hliníkové trubici s podtlakovým odváděním plynů je na **Obr. 66**. Data se nacházejí v příloze na CD.

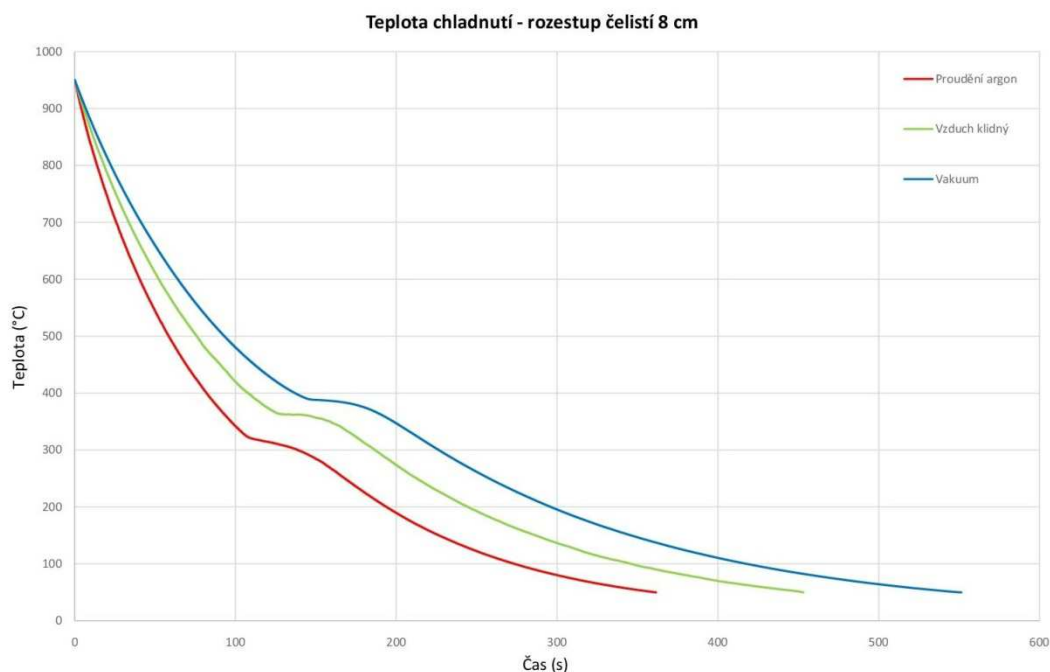


Obr. 66 Rychlost ochlazování prouděním argonu v hliníkové trubici s podtlakovým odváděním plynů.

Poslední metodou jsme posunuli dobu ochlazení vzorku z $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ na $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ na 244,52 s.

6. ZÁVĚR

V bakalářské práci jsem se zabýval návrhem konstrukční úpravy chladicího systému vedoucího ke zvýšení ochlazovacích rychlostí na teplotního simulátoru StudentCar. První část spočívala v měření limitních rychlosti ochlazování při současném stavu teplotního simulátoru. Měření probíhalo simulací třech chladících prostředí, a to ochlazování na volném vzduchu, ve vakuu a prouděním argonu na vzorek v klidném vzduchu. Z naměřených dat jsem zjistil, že čím jsou čelisti od sebe vzdálenější, tím probíhá ochlazování pomaleji. Na grafu, vidíme srovnání ochlazovacích křivek těchto tří prostředí s maximálním rozstupem čelistí, viz **Obr. 67**.



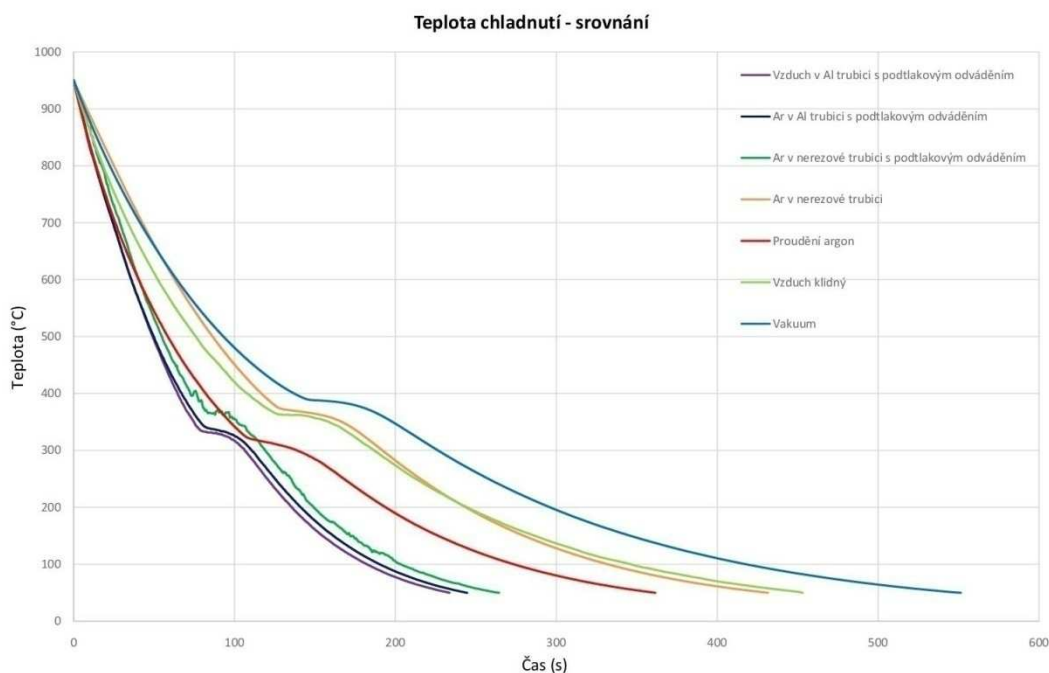
Obr. 67 Srovnání teplot ochlazování s rozstupem čelistí 8 cm.

Z výsledných dat (v příloze na CD) jsem se zaměřil na ochlazování s rozstupem čelistí v koncové hranici osmi centimetrů. Dalším kritériem je chladící prostředí. Nejrychleji probíhalo ochlazování v ochranné atmosféře argonu, jenž má, oproti ochlazování na klidném vzduchu příznivější účinek na povrch vzorku, kde se nevytváří okuje.

Návrh konstrukční úpravy je trubice, do které přivádíme ochranný plyn pro docílení izolované ochranné atmosféry argonu okolo vzorku, přičemž požadujeme zkrácení ochlazovacího času.

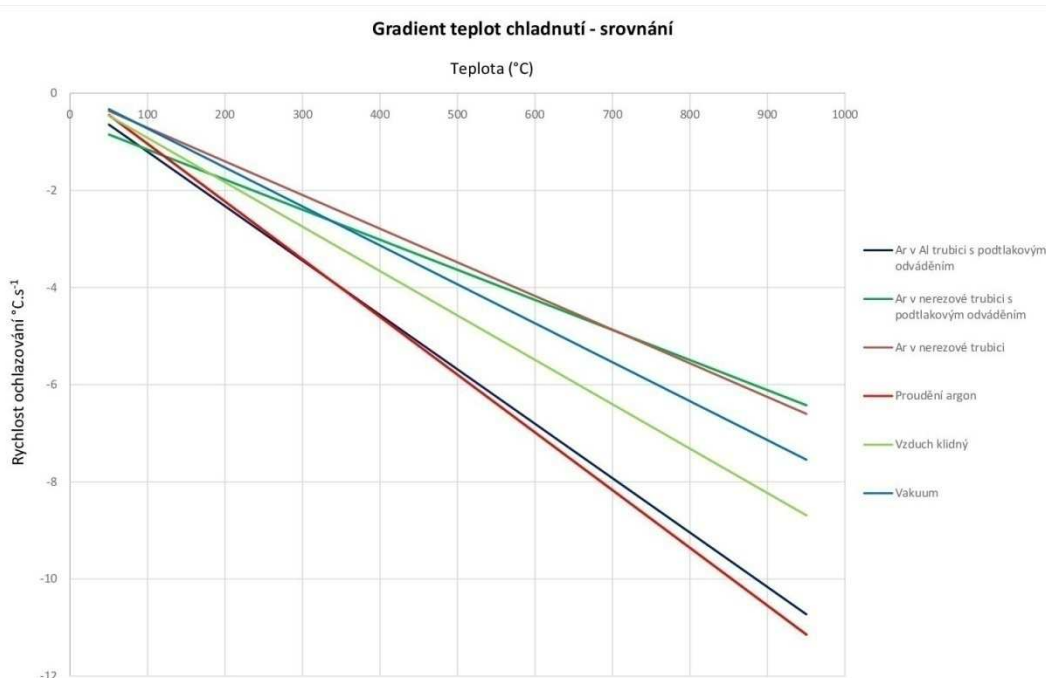
Realizací a měřením návrhů jsem dospěl k poslední, tj. hliníková trubice se dvěma vstupy argonu a jedním podtlakovým odsáváním plynů, jenž je nejefektivnější konstrukční úpravou, kterou jsem úspěšně dosáhl pro zkrácení ochlazovacího času na teplotním simulátoru StudentCar.

Celkové srovnání provedených metod ochlazovací teploty v závislosti na čase vidíme na **Obr. 68**. Data z měření jsou v příloze na CD.



Obr. 68 Teplota ochlazování - porovnání metod.

Celkové srovnání provedených metod rychlosti ochlazování v $^{\circ}\text{C/s}$ vidíme na **Obr. 69**.



Obr. 69 Srovnání rychlosti ochlazování v $^{\circ}\text{C/s}$.

V bakalářské práci jsem úspěšně splnil zadané požadavky k zvýšení ochlazovacích rychlostí, jenž se může užívat pro další experimenty na teplotním simulátoru StudentCar.

7. Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Petru Tomčíkovi, Ph.D. za cenné rady, užitečné připomínky a odborné vedení v průběhu vypracování mé bakalářské práce.

Také chci poděkovat Ing. Jiřímu Kulhánkovi, Ph.D. za konzultaci bakalářské práce a za pomoc při práci s teplotním simulátorem StudentCar.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] MOHYLA, Miroslav, *Strojírenské materiály I.*, Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2003,
- [2] VODÁREK, Vlastimil. *Fyzikální metalurgie modifikovaných (9-12)%Cr ocelí.* Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, 2003, 163 s. ISBN 80-248-0329-1,
- [3] PURMENSKÝ, Jaroslav a Václav FOLDYNA. Stanovení rychlosti ochlazování po austenitizaci při praktickém tepelném zpracování ocelových výrobků. Hutnické aktuality b. Dobrá: Výzkumný ústav hutnictví železa [Dobrá], [1979]-1992,
- [4] MACHÁČKOVÁ, Adéla a Radim KOCICH. *Sdílení tepla a proudění.* Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2012, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-248-2576-2,
- [5] SILBERNAGEL, Arnošt. *Nauka o materiálu I.* 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1996, 150 s. ISBN 80-7078-116-5,
- [6] KOUKAL, Jaroslav a Tomáš ZMYDLENÝ. *Svařování I.* 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005, 133 s. ISBN 978-80-248-0870-3,
- [7] *Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů.* 2., upr. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001, 292 s. Svařování. ISBN 80-85771-85-3,

PŘÍLOHY NA CD

Naměřená data s grafy (.xlsx):

- 4.1 Ochlazování na klidném vzduchu
- 4.2 Ochlazování ve vakuu
- 4.3 Ochlazování prouděním argonu na klidném vzduchu
- 5.1 Nerezová trubice se dvěma vstupy
- 5.2 Nerezová trubice se dvěma vstupy a odsáváním
- 5.3 Hliníková trubice se dvěma vstupy a odsáváním
- 6. Srovnání celkové

Výrobní výkresy:

- 5.1 - 1 NEREZOVÁ TRUBICE SE DVEMA VSTUPY
- 5.1 - 2.1 TEFLONOVY KROUZEK PRO NEREZ. TRUBICI BEZ DIRY
- 5.1 - 2.2 TEFLONOVY KROUZEK PRO NEREZ. TRUBICI S DIROU
- 5.1 - 3 KERAMICKY PRSTENEC
- 5.2 - 1 NEREZ. TRUB. SE DVEMA VSTUPY A PODTLAK. ODVADENIM
- 5.2 - 2.1 TEFLONOVY KROUZEK PRO NEREZ. TRUBICI BEZ DIRY
- 5.2 - 2.2 TEFLONOVY KROUZEK PRO NEREZ. TRUBICI S DIROU
- 5.2 - 3 KERAMICKY PRSTENEC
- 5.3 - 1 HLIN. TRUB. SE DVEMA VSTUPY A POTLAK. ODVADENIM
- 5.3 - 2.1 TEFLONOVY KROUZEK PRO HLIN. TRUBICI BEZ DIRY
- 5.3 - 2.2 TEFLONOVY KROUZEK PRO HLIN. TRUBICI S DIROU
- 5.3 - 3 KERAMICKY PRSTENEC